

**IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK MENGGUNAKAN
METODE *VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC*
(VLF-EM) DI DESA SIDOLAJU KECAMATAN
WIDODAREN KABUPATEN NGAWI**

SKRIPSI

Oleh:
ANDIKA DWI PRADITYO
NIM. 16640037



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

**IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK MENGGUNAKAN
METODE VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC
(VLF-EM) DI DESA SIDOLAJU KECAMATAN
WIDODAREN KABUPATEN NGAWI**

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 :

**ANDIKA DWI PRADITYO
NIM. 16640047**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

**IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK MENGGUNAKAN
METODE *VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC*
(VLF-EM) DI DESA SIDOLAJU KECAMATAN
WIDODAREN KABUPATEN NGAWI**

SKRIPSI

Oleh:

Andika Dwi Pradityo
NIM. 16640037

Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diuji
Pada Tanggal 10 Desember 2021

Pembimbing I



Irjan, M.Si.
NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II



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

Menyetujui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Aman Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

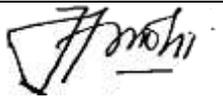
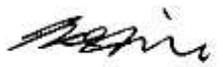
IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK MENGGUNAKAN
METODE *VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC*
(VLF-EM) DI DESA SIDOLAJU KECAMATAN
WIDODAREN KABUPATEN NGAWI

SKRIPSI

Oleh:

ANDIKA DWI PRADITYO
NIM. 16640037

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada tanggal: 10 Desember 2021

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

Mengesahkan,

Ketua Jurusan Fisika


Dr. Anan Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andika Dwi Pradityo

NIM : 16640037

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Area Semburan Gas Biogenik Menggunakan Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) Di Desa Sidolaju Kecamatan Widodaren Kabupaten Ngawi

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 penjiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan serta menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang, 10 Desember 2021

Yang membuat pernyataan



Andika Dwi Pradityo

NIM. 16640037

MOTTO

Ignore Of Praise, Embrace Of Critisme

***Jangan Merasa Tinggi Hati Karena Pujian.
Namun, Mampu Mengintropeksi Diri Karena Kritik.***

HALAMAN PESEMBAHAN

Karya sederhana ini kupersembahkan untuk :

1. Bapak Bambang Prarima Jaya dan Ibuku Sri Nuryati.
2. Kedua saudara kandungku Slamet Febrianto dan Nurlia Tri Utami Prarima Sari.
3. Untuk sosok yang paling penting dalam hidup saya yang belum bisa sebutkan namanya. Terimakasih telah memberikan semua semangat dan waktu dalam menyelesaikan tugas akhir guna masa depan lebih baik.
4. Untuk teman-teman yang saya sering ngajak “NGOPI” guna menghibur diri dan memberi semangat serta hiburan baik suka maupun duka.

Untuk orang yang selalu bertanya “Kapan lulus?”. Saya sangat berterimakasih kepada kalian semua karena senantiasa mengingatkan untuk menyelesaikan studi saya secepatnya. Menunda kelulusan bukanlah hal yang salah. Melainkan, menghabiskan *privilege* bagi seorang mahasiswa untuk mempersiapkan dirinya menghadapi dunia kerja. *Privilege* yang dimaksud yaitu relasi antar mahasiswa serta profesional untuk membantu dalam dunia pekerjaan. Selain, itu persiapan akademik serta *skill* yang sesuai serta dibutuhkan dalam dunia kerja. Oleh karena itu, saya memilih menunda dalam menyelesaikan studi saya untuk menghabiskan *privilege* tersebut. Jika waktu dapat diputar kembali dan memilih “lulus tepat waktu” atau “lulus diwaktu yang tepat”. Maka, saya akan tetap memilih “lulus diwaktu yang tepat” karena semua kelebihan yang dimiliki mahasiswa sangat rugi dihabiskan dalam waktu 4 tahun. Karena dunia kuliah adalah waktu dalam mempersiapkan diri dalam dunia kerja.

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmad, hidayah serta karunianya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini dengan baik. Skripsi ini berjudul tentang “Identifikasi Sebaran Gas Biogenik Menggunakan Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) Di Desa Sidolaju Kecamatan Widodaren Kabupaten Ngawi)”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat pada program studi strata-1 di Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proposal skripsi ini, diantaranya:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi selaku Ketua Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang selama saya mengerjakan skripsi.
4. Irjan, M.Si dan Ahmad Abtokhi M.Pd selaku Dosen Pembimbing Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Kedua Orang Tua, Kakak, Adik dan Keluarg Besar yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan yang sangat berharga.
6. Segenap anggota keluarga Geofisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu dalam proses pembuatan proposal skripsi ini baik dalam penuangan ide maupun waktu.
7. Teman-teman Fisika 2016 yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam proses penyusunan proposal skripsi.
8. Pihak-pihak lainnya yang masih belum bisa saya sebutkan.

Penulis merasa bahwa proposal skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mohon ma'af jika dalam penyusunan proposal ini terdapat

banyak kesalahan, baik dari segi penulisan, pembahasan, dan penyusunannya yang kurang rapi. Maka besar harapan penulis semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Malang, 10 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PESEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gas Alam	7
2.1.1 Pemanfaatan Gas Alam di Indonesia	7
2.1.2 Gas Biogenik	10
2.2 Geologi Daerah Penelitian	12
2.3 <i>Very Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM)	14
2.3.1 Dasar Teori <i>Very Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM)	15
2.4 Jenis Pengukuran <i>Very Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM)	18
2.4.1 Mode <i>Tilt-angle</i>	18
2.4.2 Mode <i>Resistivity</i>	19
2.5 Instrumentasi <i>Very Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM)	20
2.6 Pengolahan Data <i>Very Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM)	21
2.6.1 <i>Filter Moving Average</i>	21
2.6.2 <i>Filter Fraser</i>	21
2.6.3 <i>Filter Karous-Hjelt</i>	22
2.7 RAE (Rapat Arus Ekuivalen)	23
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu Penelitian	25
3.2 Data Penelitian	25
3.3 Peralatan dan Perangkat Lunak Penelitian	25
3.3.1 Peralatan	25
3.3.2 Perangkat Lunak	25
3.4 Desain <i>Survey Very Low Frequency</i> (VLF-EM)	26
3.5 Akuisisi Data	26
3.6.1 Langkah-langkah <i>Software Surfer</i>	27
3.6.2 Langkah-langkah <i>Software WinVLF</i>	29
3.6.3 Langkah-langkah <i>Software RockWorks 15</i>	31

3.7 Diagram Alir Metode Penelitian	33
BAB IV	
4.1 Hasil Penelitian	34
4.1.1 <i>Filter Moving Average</i>	35
4.1.2 <i>Filter Fraser</i>	39
4.2 Interpretasi Data	41
4.2.1 <i>Filter Karous-Hjelt</i>	41
4.3 Pembahasan	49
4.4 Integrasi	52
BAB V	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Semburan Gas Beserta Air pada Tanggal 6 Agustus 2018 Di Desa Sidolaju.....	4
Gambar 1.2	Semburan Gas Beserta Api Pada Tanggal 10 September 2014 Di Desa Sidolaju.....	4
Gambar 2.1	Tahapan pembentukan gas	11
Gambar 2.2	Geologi daerah penelitian	13
Gambar 2.3	Gelombang elektromagnetik Metode VLF-EM	16
Gambar 2.4	Prinsip Pengukuran Nilai <i>in-phase</i> dan <i>quadrature</i>	17
Gambar 2.5	Parameter Polarisasi Elips	18
Gambar 2.6	Ilustrasi Pengukuran VLF-EM dengan Mode <i>Tilt-angle</i>	19
Gambar 2.7	Ilustrasi Pengukuran VLF-EM dengan Mode <i>Resistivity</i>	19
Gambar 2.8	Contoh Ilustrasi Intepretasi pada <i>Filter Fraser</i>	22
Gambar 3.1	Desain akuisisi penelitian	26
Gambar 3.2	Tampilan Jedela Program Suffer	28
Gambar 3.3	Tampilan Kriging Data Penelitian.....	38
Gambar 3.4	Tampilan Pemetaan <i>Grid</i> Data	29
Gambar 3.5	Jendela <i>Fill Colors</i> dan <i>Color Scale</i>	29
Gambar 3.6	Tampilan Jendela Software <i>WinVLF</i>	30
Gambar 3.7	Tampilan Data Saat Dibuka Pada <i>WinVLF</i>	30
Gambar 3.8	Hasil Menggunakan <i>Filter Moving Avarage</i>	30
Gambar 3.9	Hasil Dari Menggunakan <i>Filter Fraser</i>	31
Gambar 3.10	Tampilan Jendela Program <i>Rockwork 15</i>	31
Gambar 3.11	Tampilan Data Program <i>Rockwork 15</i>	32
Gambar 3.12	Hasil Pengolahan data	32
Gambar 3.13	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4.1	Grafik <i>Tilt</i> dan Eliptisitas Sebelum <i>Moving Average</i> Pada Lintasan A-A'	36
Gambar 4.2	Grafik <i>Tilt</i> dan Eliptisitas Sebelum <i>Moving Average</i> Pada Lintasan B-B'	36
Gambar 4.3	Grafik <i>Tilt</i> dan Eliptisitas Sebelum <i>Moving Average</i> Pada Lintasan C-C'	37
Gambar 4.4	Grafik <i>Tilt</i> dan Eliptisitas Setelah <i>Moving Average</i> Pada Lintasan A-A'	37
Gambar 4.5	Grafik <i>Tilt</i> dan Eliptisitas Setelah <i>Moving Average</i> Pada Lintasan B-B'	37
Gambar 4.6	Grafik <i>Tilt</i> dan Eliptisitas Setelah <i>Moving Average</i> Pada Lintasan C-C'	38
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Jarak dengan Tilt Setelah <i>Filter Fraser</i> Pada Lintasan A-A'	39
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Jarak dengan <i>Tilt</i> Setelah <i>Filter Fraser</i> Pada Lintasan B-B'	40
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Jarak dengan <i>Tilt</i> Setelah <i>Filter Fraser</i> Pada Lintasan C-C'	40
Gambar 4.10	Hasil Pengolahan Data Lintasan A-A'	42
Gambar 4.11	Hasil Pengolahan Data Lintasan B-B'	44

Gambar 4.12 Hasil Pengolahan Data Lintasan C-C'	47
Gambar 4.13 <i>Solid Model</i> 3D Lintasan Total.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tingkat Emisi Bahan Bakar	9
Tabel 2.2	Nilai Resistivitas Batuan	24
Tabel 3.1	Parameter Akuisisi <i>Survey VLF</i>	26
Tabel 4.1	Simbol Pada <i>Filter Moving Avarage</i>	38

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	: Data Hasil Penelitian
LAMPIRAN II	: Gambar Pengambilan Data
LAMPIRAN III	: Bukti Konsultasi Skripsi

ABSTRAK

Pradityo, Andika Dwi. 2021. Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Area Semburan Gas Biogenik Menggunakan Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) Di Desa Sidolaju, Kecamatan Widodaren, Kabupaten Ngawi. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Irjan, M.Si. (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Kata Kunci: Gas Biogenik, *Very Low Frequency Electromagnetik*, Rapat Arus Ekuivalensi

Sumber daya energi minyak dan gas Indonesia pada tahun 2019 mengalami penurunan produksi mencapai 15 sampai 20 persen. Akibat penurunan produksi tersebut diperlukannya adanya energi alternatif pengganti seperti gas biogenik. Pada Agustus tahun 2018 terdapat peristiwa semburan gas biogenik serta air di daerah Ngawi. Pada tanggal 17-18 April 2021 telah dilakukannya penelitian menggunakan metode *very low frequency electromagnetic* (VLF-EM). *Very low frequency electromagnetic* (VLF-EM) menggunakan frekuensi radio dengan rentan frekuensi mulai 15 sampai 30 KHz. Penelitian ini memiliki 3 lisan dan setiap lintasan memiliki panjang 300 m serta spasi 5 m. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui lapisan bawah permukaan di bekas area semburan gas biogenik. Penelitian ini dilakukan dengan 3 *filter* yang nantinya akan menemukan anomali. *Filter* pertama yaitu *Filter Moving Average* yang berfungsi menghilangkan *noise* pada saat akuisisi data. Kedua yaitu *Filter Fraser* berfungsi sebagai memperjelas anomali. Sedangkan, filter terakhir yaitu *Filter Karous-Hjelt* untuk mengetahui profil bawah permukaan yang ditampilkan secara 2D. Mengetahui bawah permukaan diperlukannya adanya nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalensi). Pada penelitian terdapat nilai RAE dari 0-68 (A/m^2) diseluruh lintasan. Nilai RAE tinggi mengindikasikan bahwa daerah tersebut Anomali Konduktif atau nilai konduktivitasnya lebih baik. Sedangkan, nilai RAE rendah mengindikasikan daerah tersebut Anomali Resistif yang nilai resistivitasnya lebih baik. Anomali konduktif mengindikasikan bahwa adanya gas biogenik yang terbawa oleh air di daerah penelitian. Interpretasi pada penelitian ditemukan yaitu batupasir gunung api yang berada diseluruh lintasan. Interpretasi ini berdasarkan nilai resistivitas yang bernilai 50 – 130 Ω diseluruh lintasan dan peta geologi lembar Ngawi. Sedangkan, gas biogenik berada disela-sela batuan pasir gunung api. Pada penelitian ini ditemukannya bahwa ada 3 zona yang diklasifikasikan sebagai gas biogenik berada. Zona tersebut yaitu zona semburan sebagai jalur menyemburnya gas biogenik dan air, zona rembesan sebagai daerah rembesnya gas biogenik serta zona bukan rembesan yang tidak adanya gas biogenik pada zona tersebut.

ABSTRACT

Pradityo, Andika Dwi. 2021. Identification of Sub-Surface Structure of Area Biogenic Gas Ejection Using the *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) in Sidolaju Village, Widodaren District, Ngawi Regency. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Irjan M.Si. (II) Ahmad Abtokhi M.Pd

Keyword: Biogenic Gas, Very Low Frequency Electromagnetic, Equivalent Current Density

Indonesia's oil and gas energy resources in 2019 have decrease in production by 15 to 20 percent. Consequence the decrease in production, there is a needed for alternative energy such as biogenic gas. In August 2018, there was a burst of biogenic gas and water in the Ngawi area. On April 17-18, 2021, research was carried out using the very low frequency electromagnetic (VLF-EM). Very low frequency electromagnetic (VLF-EM) uses radio frequencies with a frequency range from 15 to 30 KHz. This research has 3 lines and a each line have length of 300 m and a space of 5 m. This research was conducted to determine the subsurface layer in the former area of the biogenic gas eruption. This research was conducted with 3 filters which will later find anomalies. The first filter is the Moving Average Filter which functions to eliminate noise from data acquisition. Second, the Fraser Filter serves to clarify anomalies. Meanwhile, the last filter is the Karous-Hjelt Filter to find out the subsurface profile displayed in 2D. Knowing the subsurface it is necessary to have an RAE (Equivalence Current Density) value. In the research, there were RAE values from 0-68 (A/m²) from all lines. A high RAE value indicates that the area is a Conductive Anomaly or the conductivity value is better. Meanwhile, a low RAE value indicates the area is a Resistive Anomaly which has a better resistivity value. The conductive anomaly indicates that there is a biogenic gas carried by water in the research area. The interpretation of the research found that volcanic sandstones are located throughout the trajectory. This interpretation is based on the resistivity value of 50 – 130 throughout the line and geological map sheet Ngawi. Meanwhile, biogenic gas is on the sidelines of volcanic sandstone. In this research, it was found that there are 3 zones classified as biogenic gases. These zones are the burst zone as a pathway for the release of biogenic gas and water, the seepage zone as a seepage area for biogenic gas and a non-seepage zone where there is no biogenic gas in the zone.

نبذة مختصرة

براديتو ، أندیکا دوي. 2021. تحديد البنية الجوفية لمنطقة طرد الغاز الحيوي باستخدام طريقة التردد الكهرومغناطيسي المنخفض جداً (فلف-م) في قرية سيدولاجو ، منطقة حي ويدودارين مقال. قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية .حي النجاوي مولانا مالك إبراهيم مالانج.

المشرف: (I) Irjan, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

الكلمات المفتاحية: الغاز الحيوي ، الكهرومغناطيسي ذو التردد المنخفض جداً ، كثافة التيار المكافئ

شهدت موارد الطاقة من النفط والغاز في إندونيسيا في عام 2019 انخفاضا في الإنتاج بنسبة 15 إلى 20 في المائة بسبب انخفاض الإنتاج ، هناك حاجة إلى طاقة بديلة مثل الغاز الحيوي. في أغسطس 2018 ، اندلعت موجة من الغاز الحيوي والمياه في منطقة النجاوي. في الفترة من 17 إلى 18 أبريل 2021 ، تم إجراء البحث باستخدام الكهرومغناطيسي ذو التردد . (فلف-م) باستخدام طريقة التردد الكهرومغناطيسي المنخفض جداً ترددات راديو بنطاق تردد من 15 إلى 30 كيلو هرتز. يحتوي هذا البحث على 3 (فلف-م) المنخفض جداً مسارات ويبلغ طول كل مسار 300 م وتباعده مسافة 5 أمتار. تم إجراء هذا البحث لتحديد الطبقة تحت السطحية في المنطقة السابقة لثوران الغاز الحيوي. تم إجراء هذا البحث باستخدام 3 مرشحات والتي ستجد فيما بعد حالات شاذة. المرشح الأول هو مرشح المتوسط المتحرك الذي يعمل على التخلص من الضوضاء أثناء الحصول على البيانات. ثانيًا ، يعمل مرشح فريزر على توضيح الحالات الشاذة. وفي الوقت نفسه ، فإن بمعرفة لاكتشاف ملف التعريف تحت السطحي المعروف في المرشح الأخير هو مرشح كاروس حجلت (كثافة تيار التكافؤ). في الدراسة ، كانت هناك قيم ما تحت السطح ، من الضروري الحصول على قيمة راي المرتفعة إلى أن المنطقة عبارة عن حالة في جميع أنحاء المسار. تشير قيمة راي (A/m^2) من 0-68 راي المنخفضة إلى أن المنطقة شذوذ موصلة أو أن قيمة التوصيلية أفضل. وفي الوقت نفسه ، تشير قيمة راي عبارة عن شذوذ مقاوم ذي قيمة مقاومة أفضل. يشير الشذوذ الموصل إلى وجود غاز حيوي يحمله الماء في منطقة الدراسة. وجد تفسير البحث أن الأحجار الرملية البركانية موجودة في جميع أنحاء المسار. يعتمد هذا التفسير على قيم المقاومة من 50 إلى 130 في جميع أنحاء مسار نقاوي وصحيفة الخريطة الجيولوجية. وفي الوقت نفسه ، يوجد الغاز الحيوي على هامش الحجر الرملي البركاني. في هذه الدراسة وجد أن هناك ثلاث مناطق مصنفة على أنها غازات حيوية. هذه المناطق هي منطقة الانفجار كمسار لإطلاق الغاز الحيوي والماء ، ومنطقة التسرب كممنطقة تسرب للغاز الحيوي ومنطقة غير تسرب حيث لا يوجد غاز حيوي في المنطقة

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan dengan berbagai potensi sumber daya alam yang beragam. Keberagamannya masyarakat pada setiap daerah memiliki cara tersendiri dalam memanfaatkan potensi tersebut. Kurangnya pengetahuan terkait teknologi yang mendukung dalam kegiatan eksplorasi membuat sumber daya alam dapat belum dimanfaatkan secara maksimal. Seiring berkembangnya zaman, kebutuhan akan sumber daya alam terus mengalami peningkatan. Peningkatan tersebut tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya alam yang dimiliki. Hingga kini, Indonesia masih mengandalkan minyak dan gas bumi sebagai sumber energi pokok. Menurut Wisnu Prabawa selaku kepala Divisi Program dan Komunikasi SKK Migas mengatakan bahwa sampai Juni 2019 jumlah produksi migas siap jual mencapai 1,808 juta barel. Namun, secara umum penurunan produksi saat ini mencapai 15-20 persen dari mayoritas lapangan tua di Indonesia. Melihat penurunan produksi ini dibutuhkan adanya energi alternatif pengganti minyak dan gas bumi.

Gas biogenik adalah sumber daya alam dari pembusukan bahan alam oleh mikroorganisme anaerob pada suhu rendah. Pada umumnya, gas ini terperangkap dalam sedimen dangkal di bawah permukaan bumi. Terbentuknya gas biogenik sebagian besar terjadi di rawa-rawa, persawahan, dan danau air tawar. Dengan demikian, masyarakat dapat memanfaatkan gas biogenik sebagai bahan bakar seperti minyak dan gas yang mudah terbakar. Gas biogenik memiliki tingkat pencemaran udara yang rendah dan tidak berbahaya bagi ekosistem. Ini lebih baik daripada berbagai jenis pengisian hidrokarbon (Rice dan Claypool, 1981).

daripada berbagai jenis pengisian hidrokarbon dengan alasan bahwa lebih sedikit karbondioksida yang dihasilkan dari sistem pembakaran (Rice dan Claypool, 1981).

Pemanfaatan gas biogenik telah diterapkan di beberapa negara, salah satunya China. China telah cukup lama memanfaatkan gas biogenik, mulai dari tahun 1995 hingga saat ini di Sungai Yangtse. Gas biogenik digunakan sebagai bahan bakar dalam skala keluarga hingga modern (Astawa dkk, 2007). Kemajuan energi alternatif untuk gas biogenik ditopang oleh infrastruktur pemboran dan pemanfaatan jalur pipa yang berkualitas. Pengembangan dalam memanfaatkan gas biogenik ditangani langsung oleh pemerintahan China.

Sejak tahun 1990, Puslitbang Geologi kelautan, Balitbang ESDM, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (PPPGL, KESDM disingkat P3GL) telah menemukan sumber-sumber gas biogenik yang cukup signifikan di beberapa wilayah. Beberapa sumber gas biogenik terperangkap pada lapisan laut dangkal yang berumur Holosen (<10.000 tahun lalu) (Lubis, 2015). Hal ini tentunya memberikan dugaan tentang potensialitas sedimen holosen dalam jangka pendek untuk menghasilkan sebagai gas biogenik. Dalam produksinya, gas biogenik memiliki bakteri anaerob yang dibutuhkan guna memproduksi gas metan selama fase awal pada diagenesis sedimen.

Potensi gas biogenik di Indonesia tersebar pada berbagai daerah. Penelitian yang dilakukan oleh PPPGL di laut dangkal telah menemukan adanya indikasi besar terkait potensi sumber gas biogenik yang terperangkap pada sedimen holosen. Laut dangkal bukanlah satu-satunya lokasi yang memiliki potensi perangkap gas biogenik, daerah rawa dan persawahan juga memiliki potensi tersebut seperti halnya peristiwa di Ngawi. Pada bulan Agustus 2018 ditemukannya adanya

semburan gas biogenik yang berada di salah satu rumah warga. Peristiwa ini pernah terjadi pada tahun 2014 di lokasi pada saat itu telah muncul sebanyak 2 titik yang berdekatan tepatnya Desa Sidolaju, Kecamatan Widodaren, Kabupaten Ngawi. Kepala Bidang Energi, Dinas ESDM Jawa Timur, Kukuh Sudjarmiko mengatakan bahwa semburan gas dangkal itu sangat berpotensi di Ngawi, tetapi gas tersebut bukanlah gas bumi melainkan gas rawa yang mudah terbakar. Keterkaitannya dengan minyak dan gas bumi masih harus dilakukan penelitian yang mendalam (Liputan6.com, 2018).

Semburan air dan gas di Ngawi menunjukkan adanya potensi gas biogenik. Berdasarkan peta geologi, wilayah ini tersusun atas batuan sedimen dari lajur Kendeng, Rembang, dan Solo. Wilayah ini juga memiliki simpanan aluvial seperti lumpur, sedimen, pasir, dan batuan yang memungkinkan gas biogenik berada didalamnya. Selain itu, lembar Ngawi memiliki banyak struktur antiklin, potensi penangkapan gasnya cukup kuat. Seperti yang diungkapkan oleh Kukuh Sudjarmiko selaku Kepala Badan Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), erupsi air dan gas yang muncul karena adanya patahan sebagai jalur migrasi dan mendorong air ke permukaan.

Kemunculan gas biogenik ke permukaan sering dijumpai pada rawa ataupun sawah. Sehingga, gas biogenik bisa juga disebut gas rawa atau gas sawah. Gas ini merupakan rembesan ke arah permukaan dari gas metana murni yang berasal dari alam. Kondisi ini dimungkinkan oleh berbagai faktor diantaranya karena “*gas charged sediment*” atau sedimen pembawa gas metana. Hal inipun menjadi prospek jangka panjang menjadi hipotesis daerah berbasis pertanian sebagai *basis recharge* dari prospektivitas gas metana biogenik (Gani, 2016).



Gambar 1.1 Semburan Gas dan Air Di Desa Sidolaju pada 6 Agustus 2018



Gambar 1.2 Ledakan Gas dan Api di Desa Sidolaju Pada 10 September 2014

Metode geofisika dalam penelitian ini menggunakan *very low frequency electromagnetic* (VLF-EM). Metode VLF-EM dipilih karena tidak berbahaya bagi lingkungan dan cepat dalam proses pengumpulan informasi. VLF-EM memanfaatkan gelombang elektromagnetik pasif dan efektif dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan. Metode geofisika Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM) efektif pada daerah yang bersifat konduktif. Sifat kelistrikan yang digunakan adalah radiasi elektromagnetik pasif, dengan cakupan frekuensi 15 - 30 kHz. Nilai frekuensi *very low frequency electromagnetic* (VLF-EM) dapat dibuat dari transduser atau vibrator pada frekuensi tinggi yang diharapkan memberikan data ke setiap lapisan bawah permukaan (Hiskiawan,2011)

Identifikasi struktur bawah permukaan diperuntukan untuk mengetahui lapisan serta material yang berada di dalam bumi. Hal ini berkaitan dengan firman Allah dalam Qur'an Surat Ar - Rahman ayat 33:

يُمَعْتَرُ الْجِنَّ وَالْإِنْسَ إِنِ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ فَانفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَنِ ۝۳۳

Artinya: “Hai jama'ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka lintasilah, kami tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan.”

Ayat tersebut dapat dimaknai sebagai manusia diharapkan untuk mengeksplorasi mulai dari atas langit hingga dalam bumi. Untuk dapat melakukan eksplorasi diperlukannya kekuatan. Kekuatan yang dimaksud berupa akal dan fikiran yang diberikan oleh Allah SWT. untuk manusia. Dari akal dan fikiran tersebut manusia dapat mengembangkan ilmu pengetahuan guna dilakukannya eksplorasi. Ilmu pengetahuan yang berasal dari akal dan fikiran yang telah diberikan akan digunakan untuk mengeksplorasi luar angkasa hingga inti bumi. Semua itu terjadi semata-mata karena kekuatan dan atas izin Allah SWT.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, oleh karena itu penelitian ini dirancang untuk menjawab beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana anomali RAE (Rapat Arus Ekuivalensi) berdasarkan data *very low frequency electromagnetic* (VLF-EM)?
2. Bagaimana menduga sebaran gas biogenik di area penelitian berdasarkan metode *very low frequency electromagnetic* (VLF-EM)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui anomali RAE (Rapat Arus Ekivalensi) di area penelitian.
2. Menduga sebaran gas biogenik di area penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Manfaat dalam hal akademik adalah dibuatnya peta sebaran indikasi gas biogenik. Selain itu, mampu untuk melakukan penelitian selanjutnya.
2. Manfaat kepada masyarakat yaitu sebagai media informasi terkait adanya gas biogenik di daerah tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan di Desa Sidolaju kecamatan Widodaren kabupaten Ngawi dengan 3 lintasan. Pertama, lintasan A-A' memiliki koordinat $7^{\circ}24'26.44''\text{LS}$ - $7^{\circ}24'17.34''\text{LS}$ dan $111^{\circ}16'20.80''\text{BT}$ - $111^{\circ}16'24.49''\text{BT}$. Kedua, lintasan B-B' dengan koordinat $7^{\circ}24'20.32''\text{LS}$ - $7^{\circ}24'20.67''\text{LS}$ dan $111^{\circ}16'19.95''\text{BT}$ - $111^{\circ}16'29.77''\text{BT}$. Ketiga, lintasan C-C' dengan koordinat $7^{\circ}24'25.17''\text{LS}$ - $7^{\circ}24'15.69''\text{LS}$ dan $111^{\circ}16'24.35''\text{BT}$ - $111^{\circ}16'22.03''\text{BT}$
2. Jenis pengukuran yang dipakai pada *Very low frequency Eletromagnetic* (VLF-EM) yaitu *mode tilt-angle*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas Alam

Bumi memiliki sumber daya alam yang berlimpah. Salah satu sumber daya alam yang memiliki cadangan yang besar yaitu gas alam. Gas alam memiliki sifat yang tidak dapat diolah menjadi sumber energi. Hal ini dikarenakan gas alam akan sulit diawasi selama proses pembuatan menjadi gas alam. Menurut Chandra (2006), gas alam memiliki banyak kandungan dalam setiap penemuannya. Kandungan tersebut berupa air, hidrogen sulfida, karbon dioksida, dan masih banyak.

Cadangan gas alam seringkali ditemukan di ladang minyak dan tambang batu bara. Gas alam kaya akan metana yang tersedia di beberapa daerah. Gas alam terbentuk melalui pembusukan mikroorganisme anaerobik. Gas ini umumnya disebut biogas dan ditemukan di sekitar rawa-rawa. Oleh karena itu, gas alam sering disebut sebagai gas rawa.

2.1.1 Pemanfaatan Gas Alam di Indonesia

Cadangan gas alam di Indonesia terbilang sangat besar. Berdasarkan data tahun 1988 terdapat cadangan sebesar 68,87 triliun m³ (Sugiono, 2001). Cadangan ini terdiri dari *non-associated gas* sebesar 60 triliun m³ dan *associated gas* sebesar 8,87 triliun m³. Cadangan gas alam tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan yang besar berada di pulau Natuna, Kalimantan Timur dan Aceh. Persediaan gas alam yang melimpah membuat kebutuhan konsumsi energi pun meningkat pula. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia telah melakukan strategi dengan mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 yang berisi tentang pengelolaan energi nasional. Substansi pedoman tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menjamin ketersediaan energi domestik.
2. Meningkatkan nilai tambahan sumber energi.
3. Mengelola energi secara etis dan berkelanjutan.
4. Menyediakan energi yang terjangkau.
5. Meningkatkan peran energi alternatif.

Indonesia memiliki potensi besar gas alam yang tersebar di berbagai tempat. Selain itu, gas alam yang diproduksi dari sumur-sumur tertentu akan memasuki standarisasi gas yang layak untuk dipasarkan secara global. Jenis gas yang memiliki kandungan polutan seperti sulfur tidak akan dipasarkan. Hal ini dikarenakan, jenis gas ini memiliki sifat merusak lingkungan dan beracun bagi makhluk hidup. Untuk jenis gas yang mengandung polutan diharuskan pengelolaan yang lebih lanjut agar dapat memenuhi standar. Ada beberapa fase dalam mengelola jenis gas polutan yaitu *sweetening* dan *dehydration* (Kusumadinata, 1998).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencermati penggunaan bahan bakar gas untuk mengatasi masalah ekspor. Ada beberapa hasil gas alam yang dapat digunakan yaitu LPG (Liquid Petroleum Gas) dan CNG (Compressed Natural Gas). LPG dan CNG adalah gas alam yang disuling dan diisolasi dari minyak bumi. Gas yang akan memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti keperluan memasak yaitu LPG. LPG dinilai lebih tidak berbahaya untuk lingkungan lingkungan dibandingkan BBM (bahan bakar minyak). Berikutnya adalah tingkat emisi yang dihasilkan oleh motor yang menggunakan jenis bahan bakar yang bergantung pada ESDM yang dapat ditemukan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Tingkat Emisi Bahan Bakar (Pratama, 2018).

Polutan (Pound/Milyar BTU)	Gas Alam	Minyak	Batu Bara
Karbon Dioksida	117	164	208
Karbon Monoksida	40	33	208
Nitrogen Oksida	92	448	457
Sulfur Dioksida	1	1,122	2,591
Partikel	7	84	2,744
Merkuri	0	0,007	0,016

Berdasarkan tabel 2.1, terlihat bahwa tingkat emisi yang dihasilkan oleh masing-masing bahan bakar adalah berbeda-beda. Bahan bakar gas adalah tingkat emisi paling sedikit dibandingkan dengan minyak dan batu bara. Terlebih lagi, pemanfaatan bahan bakar gas pada kendaraan memberikan keuntungan bagi masyarakat dan lingkungan. Selanjutnya keunggulan bahan bakar gas (Pratama, 2018):

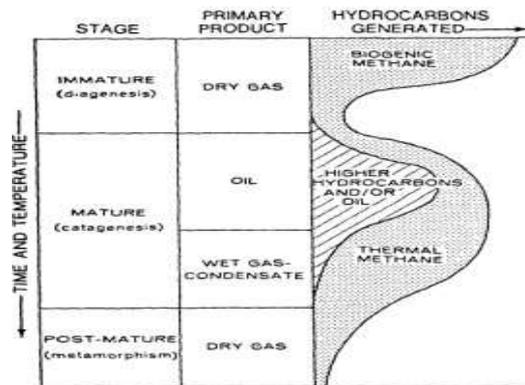
1. Ketahanan dan pemeliharaan energi yang dikembangkan lebih lanjut.
2. Menurunkan biaya energi.
3. Mengurangi kontaminasi udara hingga setengahnya
4. Mengurangi aliran keluar zat perusak ozon.
5. Kesejahteraan jalanan yang lebih berkembang.

Ada 3 proses pembentukan gas alam yaitu termogenik, abiogenik dan biogenik. Pertama, proses termogenik adalah cara paling umum untuk membentuk gas alam dari bagian tanaman, makhluk hidup, mikroorganisme yang tersisa dan terurai karena suhu dan tekanan tinggi. Kedua, proses abiogenik adalah susunan gas yang terjadi karena adanya respon antara H_2 dan C serta batuan alkali yang berada dalam perut bumi. Ketiga, proses biogenik adalah pembentukan gas yang disebabkan oleh penguraian bahan organik oleh mikroorganisme.

2.1.2 Gas Biogenik

Salah satu gas dangkal yang terkandung pada lapisan sedimen laut disebut gas biogenik. Gas biogenik memiliki umur Holosen atau sekitar kurang dari 10.000 tahun lalu. Gas biogenik yang muncul ke permukaan dikarenakan adanya patahan ataupun lapisan yang lemah. Patahan atau lapisan yang lemah biasanya berada pada sumber gas biogenik. Sumber gas biogenik berupa endapan yang mengandung organik dengan lebih dari 95% sebagai gas metana dan sekitar 2% karbon dioksida serta gas nitrogen. Pada umumnya sedimen yang belum matang atau *immature* sebagai tempat terakumulasinya gas biogenik. Sedimen yang belum matang (*immature*) adalah sedimen yang memiliki kedalaman yang terbilang dangkal serta kemiringan rendah. Menurut Rice dan Claypool dalam Arifin (2010). Sedimen laut yang memiliki lingkungan anaerobik dan kandungan sulfat sedikit biasa menjadi tempat terbentuknya gas biogenik.

Gas biogenik sebagian besar terdiri dari metana terkecuali gas biogenik di lingkungan air payau (PH rendah) dimana komponen utama berupa CO₂ yang terbentuk secara biologis. Karakteristik utama dalam membedakan gas biogenik adalah komposisi kimia dan isotop. Gas biogenik secara komposisi terdiri dari metana ($C1/C5 > 0,98$), hidrokarbon kecil yang lebih berat dan dapat dikaitkan dengan produksi suhu termal rendah. Ambiguitas dalam interpretasi asal usul gas biogenik dapat diminimalisir dengan mensinkronkan data kimia serta isotop dan informasi geologi daerah (Rice dan Claypool, 1981).



Gambar 2.1 Tahapan pembentukan gas (Rice dan Claypool, 1981)

Ada dua bagian mendasar dalam pembentukan gas metana biogenik, yaitu bahan alam (molus, tumbuhan) dan mikroorganisme metanogenik sebagai katalisator. Gas metana biogenik terbentuk melalui bahan alam yang memadai dan berada dalam lingkungan anaerobik (tidak ada oksigen) sehingga terjadi proses reduksi secara kimiawi. Media atau sedimen dengan porositas yang cukup pada lingkungan diperlukan oleh mikroba anaerob untuk berkembang secara terbuka seperti lanau atau pasir halus. Komponen karbon C^{4+} yang lepas dari bahan alam dan hidrogen (H) yang berasal dari bahan alam dari air baru (H_2O) akan menghasilkan gas metana (CH_4) karena aksi mikroorganisme anaerob. Gas yang tercipta dari respons ini dikenal sebagai gas biogenik

Dalam waktu yang relatif singkat gas biogenik dapat terbentuk dan memiliki keterkaitan dengan arah aliran dari air tanah. Pengumpulan gas biogenik telah ditemukan hampir diseluruh dunia mulai benua Afrika, benua Asia, benua Eropa, hingga Amerika Utara dan Amerika Selatan. Gas biogenik memiliki berbagai jenis batuan dalam proses akumulasinya seperti karbonat, klastik, dan batubara. Menurut Rice (1993) ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi untuk menghasilkan gas biogenik dalam jumlah besar sebagai berikut:

1. Lingkungan Anoxic: lingkungan tanpa oksigen yang ditemukan di rawa-rawa tropis.
2. Lingkungan sulfat rendah: lingkungan air tawar, metanogenesis yang pada umumnya terjadi kemudian oksigen habis.
3. Suhu rendah: perkembangan mikroorganisme metanogenik berlangsung dari suhu $>25^{\circ}\text{C}$. Suhu optimal berkisar antara 35 hingga 45°C , dan hanya berada di bawah suhu termogenik awal.
4. Bahan alam yang melimpah: bahan alam sebagian besar terkumpul dalam sedimen yang berbutir halus.
5. Jenis dan kondisi bahan organik: gas biogenik dihasilkan dari bahan alam yang kaya akan oksigen. Karena jenis bahan ini yang tersedia di lingkungan dan menjadi akumulasi gas biogenik.

2.2 Geologi Daerah Penelitian

Kabupaten Ngawi secara geologis terletak pada koordinat $7^{\circ} 00'$ – $7^{\circ} 30'$ Lintang Selatan $111^{\circ} 00'$ – $111^{\circ} 30'$ Bujur Timur dengan luasan sebesar 3.025 Km^2 . Secara morfologi, Kabupaten Ngawi tersusun dari enam kesatuan yaitu lereng G. Lawu, daratan vulkanik Sragen - Ngawi, dataran aluvium Ngawi - Madiun, perbukitan Kendeng, perbukitan Blora - Cepu dan daratan Randublantung. Sedangkan, secara Stratigrafi dari lajur Solo, lajur Kendeng, dan lajur Rembang. Antara lajur Kendeng dan Rembang tersekut oleh lekuk Randublantung yang memanjang dari timur ke barat (Datun dkk, 1996).



Gambar 2.2 Geologi daerah penelitian (Datun dkk, 1996).

Daerah penelitian tepatnya berada di *Desa Sidolaju*, Kecamatan Windodaren. Secara morfologi daerah tersebut masuk kedalam lereng G. Lawu dan secara stratigrafi masuk dalam lajur Solo bagian utara dan lajur Kendeng bagian selatan. Pada lajur Solo dihuni oleh endapan Lawu dan lajur Kendeng dihuni oleh endapan undak, Formasi Notopuro, Formasi Kabuh, Formasi Pucangan, Formasi Kaliabeng dan Formasi Kerek (Datun dkk, 1996).

Namun, secara spesifik area penelitian berada pada lajur Solo yang berupa endapan Lawu dan sedikit bersinggungan dengan Formasi Notopuro. Endapan ini menindih Formasi Notoputo dan Formasi Kabuh yang berada di bawah Formasi Notopuro. Secara keseluruhan endapan ini merupakan endapan G. Lawu. Endapan ini berisikan batuan vulkanik yang berupa batu pasir gunung api, batu lempung - lanau gunung api, bereksi gunung api dan lava.

Batu pasir vulkanik memiliki karakter bewarna abu-abu kecokelatan dengan porositas sedang hingga baik. Dibeberapa tempat membentuk ketebalan 15 - 70 cm dan kadang-kadang berstruktur bersilang. Batu lempung-lanau vulkanik memiliki warna abu-abu coklat kekuningan dengan ketebalan 20-110 cm. Bereksi vulkanik memiliki warna abu-abu gelap bersifat andesit dimana terlihat jelas bekas gas yang menyusup diantara bereksi lava (Datun dan Rumidi, 1985).

Struktur bawah permukaan pada lokasi penelitian memiliki 4 lapisan. Lapisan pertama diidentifikasi sebagai batuan lempung berada pada kedalaman 0-180 m

dari permukaan. Lapisan kedua diidentifikasi sebagai batuan pasir yang kedalaman 0-370 m dari permukaan. Lapisan ketiga diidentifikasi sebagai batuan breksi gunung api berada pada kedalaman 90-400 m dari permukaan. Lapisan diidentifikasi sebagai batuan breksi lahar kedalaman 170-400 m dari permukaan (Shidiq,2020)

2.3 *Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM)*

Metode VLF-EM merupakan pengukuran geofisika yang menggunakan prinsip elektromagnetik pasif. Dimana, pengukuran menggunakan sumber transmisi elektromagnetik, khususnya gelombang radio dengan frekuensi rendah sekitar 15-30 kHz. Pada tahun 1971 Ronka memperkenalkan metode ini untuk digunakan dalam penyelidikan geofisika untuk tujuan yang berbeda, misalnya, pemeriksaan sesar dangkal, perencanaan topografi dan studi bentuk lahan. (Hakim, 2014). Metode VLF-EM digunakan untuk eksplorasi benda konduktif di bawah permukaan. Perubahan komponen medan karena variasi konduktivitas digunakan untuk menentukan struktur bawah permukaan. VLF-EM adalah metode yang lebih baik dan praktis serta memiliki cakupan wilayah yang lebih luas daripada metode elektromagnetik lainnya.

Prinsip VLF-EM yaitu sumber gelombang elektromagnetik hasil induksi elektromagnetik dengan frekuensi rendah atau dikenal sebagai medan primer dengan frekuensi adalah 15 - 30 Khz. Frekuensi ini nantinya akan dirambatkan melalui permukaan bumi hingga ionosfer. Hasil induksi gelombang ini nantinya akan ada arus induksi di dalam batuan yang berada dibawah permukaan bumi. Medan primer akan menginduksi arus sekunder yang berada dalam batuan yang bersifat konduktif disebut arus Eddy. Medan sekunder yang disebabkan oleh arus

induksi nantinya akan ditangkap pada permukaan bumi. Setelah itu, akan bergabung dengan medan primer yang bergantung pada besaran fisika di dalam batuan yaitu nilai resistivitas atau konduktivitas. Besar medan elektromagnetik sekunder sesuai dengan besar daya hantar listrik (ρ). Sehingga, kuat medan pada arah tertentu secara tidak langsung dapat mengidentifikasi konduktivitas listrik batuan di bawah permukaan.

2.3.1 Dasar Teori *Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM)*

Menurut Sismanto dan Hartantyo (2005), salah satu jenis perambatan gelombang elektromagnetik yang memiliki hubungan dengan adanya vektor medan listrik dan medan magnetic yaitu persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell yang digunakan dalam metode ini sebagai berikut:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.1)$$

dan

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.2)$$

Dengan J adalah rapat arus listrik (A/m^2), E adalah medan listrik (V/m), B adalah induksi magnetik (Wb/m^2), D adalah pergeseran listrik (C/m^2) dan H adalah medan magneik (A/m).

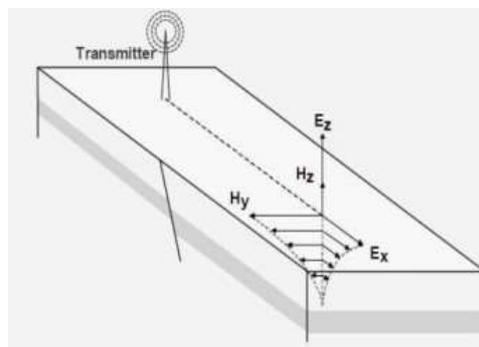
Asumsi bahwa medan E dan H adalah elemen waktu yang eksponensial. Kemudian pada titik tersebut akan diperoleh persamaan vektor sebagai berikut (Febria dan Sismanto, 2009):

$$\nabla^2 E = i\omega\mu\sigma E - \omega^2\epsilon\mu E \quad (2.3)$$

$$\nabla^2 H = i\omega\mu\sigma H - \omega^2\epsilon\mu H \quad (2.4)$$

Dengan σ adalah konduktifitas listrik (mho/m), μ adalah permabilitas (H/m) dan ϵ adalah permitivitas dielektrik (F/M)

Medan elektromagnetik primer dari pemancar radio memiliki bagian medan listrik vertikal E_z dan bagian medan magnetik H_y yang tegak lurus dengan jalur perambatan sumbu X. Oleh karena jarak yang jauh dari antenna pemancar bahwa medan elektromagnetik primer H_y dianggap gelombang yang berjalan horizontal. Bila struktur bawah permukaan terdapat batuan konduktif. Bagian komponen medan magnetik dari elektromagnetik primer akan menginduksi batuan dan menyebabkan arus induksi seperti yang ditampilkan pada gambar 2.3.

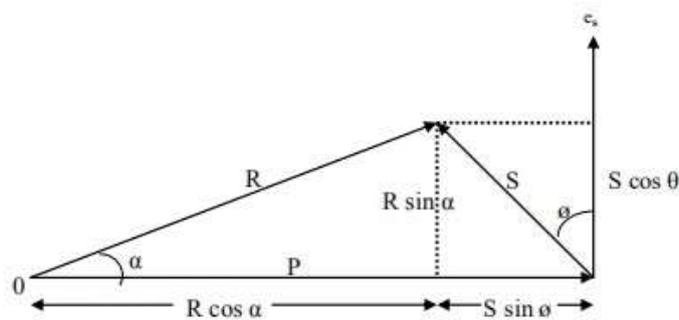


Gambar 2.3 Gelombang elektromagnetik Pada Metode VLF-EM

Arus Eddy yang ditimbulkan oleh medan magnetik VLF-EM (Very Low Frequency Electromagnetic) di bagian tanah yang lebih konduktif menghasilkan medan magnet sekunder dengan frekuensi serupa dengan berbagai fase yang berbeda. Arus Eddy berbanding lurus terhadap konduktivitas batuan. Dengan cara ini, pengukuran arus Eddy secara tidak langsung memperoleh nilai konduktivitas batuan. Bidang magnetik vertical H_z membantu dalam menentukan anomali dan sebagian besar instrumen VLF-EM menganalisis bidang vertikal dan datar dari medan magnet untuk melihat titik miring atau *tilt* (Milsom, 1989).

Metode VLF-EM memiliki karakteristik yaitu gelombang elektromagnetik primer yang memasuki batuan sehingga terjadinya gaya gerak listrik (ggl). Gaya gerak listrik (ggl) inilah nantinya akan menginduksi E_s dengan frekuensi yang sama fase yang tertinggal sebesar 90° (Kaikkonen, 1979). Pada gambar 2.4 terdapat

adanya grafik yang menunjukkan bahwa vektor medan P serta ggl dan respon yang ditimbulkan. Komponen real (*in-phase*) merupakan hasil kombinasi medan P dan medan S ($R \cos \alpha$). Sedangkan, komponen imajiner (*quadrature*) adalah bagian yang tegak lurus dengan P ($R \sin \alpha$). Sudut *Tilt angle* α yaitu titik utama yang terpolarisasi dari elliptisitas yang berjalan horizontal (dalam derajat atau persen). Selain itu, pengukuran eliptisitas adalah proporsi antara sumbu besar (dalam persen).



Gambar 2.4 Prinsip Pengukuran Nilai *in-phase* dan *quadrature*

Besar sudut tilt yang ditunjukkan pada gambar 2.4 adalah :

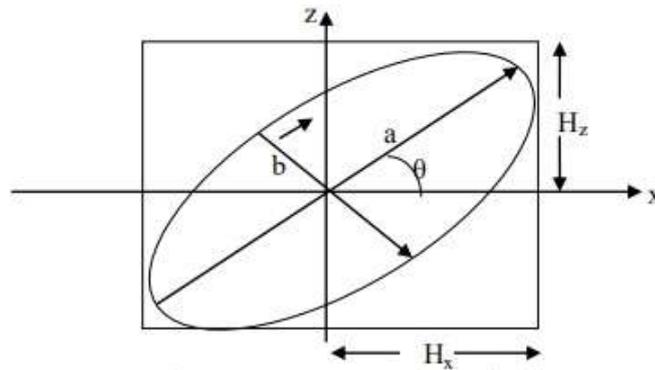
$$\tan(2\theta) = \frac{2\left(\frac{H_z}{H_x}\right) \cos \theta}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dan ellipsitasnya diberikan sebagai :

$$\varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin \theta}{[H_z e^{i\theta} \sin \theta + H_x \cos \theta]^2} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dengan H_x adalah medan hirozontal dan H_z adalah medan vertikal

Tangen adalah sudut *tilt* dan eliptisitas yang digunakan untuk melihat bagian dari medan magnetik sekunder S vertikal dengan medan magnetik primer P horizontal. Setelah dilihat dan langsung membandingkan kuadrat medan magnetik sekunder S vertikal terhadap medan magnetik primer P horizontal. (Peterson dan Ronka, 1971).



Gambar 2.5 Polarisasi Elips (Peterson & Ronka, 1971).

Kedalaman pendugaan struktur menggunakan metode *Very Low Frequency Electromagnetik* dinyatakan sebagai *skin depth* (δ). *Skin depth* bergantung pada resistivitas batuan serta frekuensi gelombang yang telah digunakan. Seberapa dalam *Skin depth* dapat ditentukan oleh persamaan:

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2.7)$$

Dengan δ adalah *Skin depth*, f adalah frekuensi pemancar (Hz) dan ρ adalah resistivitas batuan penutup

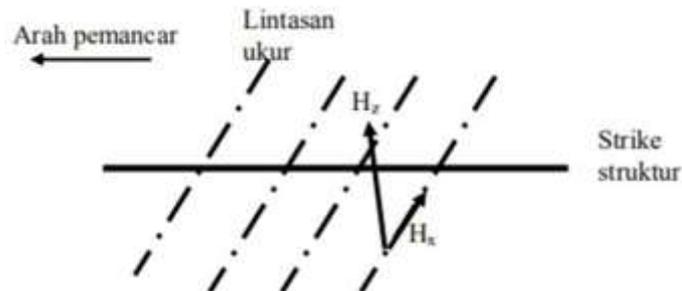
2.4 Jenis Pengukuran *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM)

Pengukuran VLF-EM dapat dibagi dalam 2 mode. Pertama yaitu mode *tilt-angle* yang memperkirakan polarisasi berdasarkan medan magnetik. Kedua yaitu mode *resistivity* yang memperkirakan polarisasi berdasarkan medan magnetik dan listrik.

2.4.1 Mode *Tilt-angle*

Jenis pengukuran menggunakan Mode *Tilt-angle* dapat digunakan dalam memutuskan batuan konduktif dan kontak geologi, misalnya zona alternasi, patahan dan hambatan konduktif. Arah receiver dalam penggunaan mode ini memiliki sudut $\pm 45^\circ$ dari lokasi transmitter. Dalam mode ini, medan primer akan memberikan fluks

paling ekstrem saat melintasi atau memotong arah struktur. Dengan demikian, memberikan anomali terbaik yang akan diperoleh.

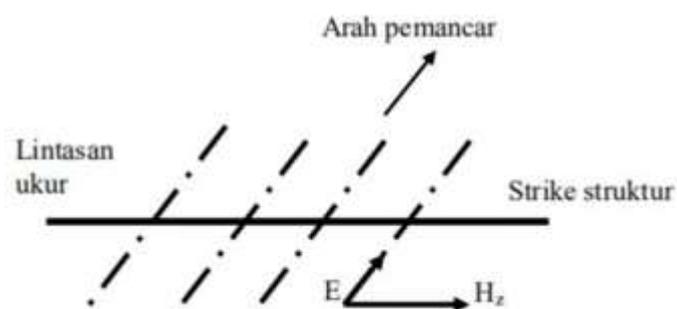


Gambar 2.6 Pengukuran VLF-EM dengan Mode *Tilt-angle*

Bagian vertikal dalam hal ini medan magnet dan horizontal akan membentuk elips. Hal inipun ditunjukkan dengan adanya sudut *tilt* dari poros penting serta bagian horizontal. Dua besaran yang akan diperlihatkan pada instrumen alat berupa nilai *in-phase* dan *quadrature*. Data *tilt* ditampilkan pada *Fraser derivatif* dan batas eliptisitas digunakan untuk menetapkan bahwa struktur bawah permukaan memiliki konduktivitas tinggi atau memiliki konduktivitas rendah.

2.4.2 Mode *Resistivity*

Pada umumnya mode *resistivity* berfungsi untuk menentukan dike resistif dan membatasi unit geologi melalui perencanaan resistivitas. Mode *resistivity* umumnya baik jika arah pemancar tegak lurus dengan *strike* topografi ($\pm 45^\circ$) yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pengukuran VLF-EM dengan Mode *Resistivity*

Data yang akan diukur pada Instrumen alat yaitu ketebalan objek dan sejauh mana sudut fase batuan. Letaknya anomali umumnya di bawah puncak anomali resistivitas. Sedangkan, harga fase $<45^\circ$ menunjukkan semakin dalam resistivitas semakin besar dan harga fase $>45^\circ$ menunjukkan semakin dalam resistivitas, semakin kecil.

2.5 Instrumentasi *Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM)*

Instrumen VLF-EM yang digunakan adalah alat dari SCRINTEX. Instrumen VLF-EM dari alat ini terdiri dari dua unit, yaitu unit sensor dan unit pusat kendali/T-Unit. Unit sensor adalah pengumpul gelombang radio dengan cakupan frekuensi 10–30 kHz yang dilengkapi dengan penguatan terprogram (*automatic gain*) dan pemisahan terkomputerisasi (*digital filtering*). Pengukuran dilakukan secara otomatis dan dikontrol oleh chip.

Data yang akan diperoleh pada instrumen VLF-EM yaitu *in-phase*, *quadrature*, *tilt* dan *total field*. Data *in-phase* medan primer dihasilkan oleh alat dan diberikan kedalam struktur bawah permukaan. *Quadrature* adalah medan sekunder yang terjadi dari medan primer yang nantinya akan ditangkap oleh alat. Untuk *total field* didapatkan dari medan primer dan sekunder. Sedangkan, *tilt* adalah sudut utama yang terpolarisasi.

Panduan pengukuran VLF-EM adalah gelombang elektromagnetik dengan menggunakan gelombang hasil induksi dengan frekuensi rendah sebagai medan primer (*in-phase*) dan memiliki frekuensi 15 kHz sampai 30 kHz. Arus induksi akan muncul di bawah permukaan batuan karena adanya induksi gelombang elektromagnetik yang dibawa oleh frekuensi. Medan primer yang berada pada tubuh batuan konduktif akan menginduksi medan sekunder yang berada pada tubuh

batuab yang sama. Hasil dari adanya arus induksi inilah yang nantinya menyebabkan adanya medan sekunder (*quadrature*) yang akan ditangkap pada permukaan bumi. Kemudian, medan sekunder yang telah tertangkap ini nantinya akan bergabung dengan medan primer sehingga membentuk medan total (*total field*). Nilai *total field* akan dihasilkan berdasarkan besaran fisika yang ada dalam batuan yaitu resistivitas atau konduktivitas.

2.6 Pengolahan Data *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM)

Data yang diperoleh dari akuisisi tersebut kemudian diolah sehingga dapat diinterpretasikan dengan tepat. Data akuisisi adalah hasil antara sinyal anomali dan gangguan (*noise*) yang tidak diharapkan. Sumber gangguan (*noise*) adalah gangguan dari gelombang elektromagnetik yang berada di sekitar misalnya menara, kabel dan pemancar gelombang elektromagnetik. Ada beberapa jenis filter dalam pengolahan data VLF-EM.

2.6.1 *Filter Moving Average*

Filter Moving Average adalah *filter* yang digunakan untuk menghilangkan *noise* lingkungan yang bersifat local dengan memisahkan informasi yang mengandung frekuensi tinggi dan rendah. Informasi yang mengandung frekuensi tinggi dianggap sebagai sinyal. Selain itu, informasi dengan frekuensi yang rendah dianggap sebagai *noise*. *Noise* ini diselesaikan dengan rata-rata nilai anomali dan kemudian dipisahkan dengan jumlah jendela yang digunakan (Nabighian, 1991).

2.6.2 *Filter Fraser*

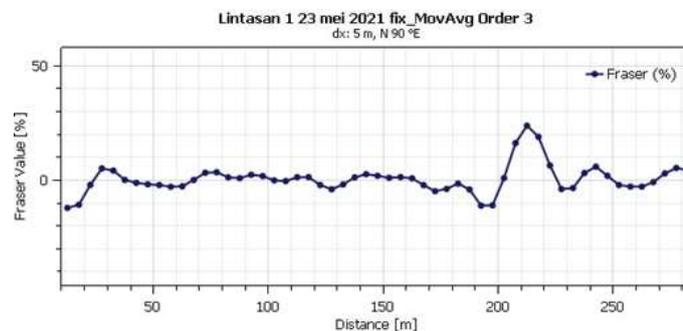
Dengan memanfaatkan Filter ini, titik potong anomali menjadi ideal (sampai di puncaknya). Oleh karena itu, hasil *filter* ini akan membuat proses analisis akan lebih mudah. Proses interpretasi yang menggunakan informasi sebelum *Filter*

Fraser akan merepotkan, karena sulit untuk menunjukkan dengan tepat status kemajuan yang tidak terpusat di sekitar titik tunggal. Juga, dengan asumsi bahwa wilayah tersebut memiliki banyak bahan konduktif, titik perubahan akan lebih sulit untuk ditentukan. Nanti dengan menggunakan *Filter Fraser* titik adanya anomali menjadi lebih jelas.

Prinsip utama *Fraser Filter* adalah menggunakan 4 buah data pada titik pengukuran secara berurutan dengan menghilangkan jumlah data ketiga dan keempat dari jumlah nilai data pertama dan kedua. Kemudian, pada titik tersebut akan diplot pada titik tengah antara informasi kedua dan informasi ketiga. Secara numerik persamaan *Filter Fraser* adalah (Fraser, 1969):

$$F_n = (H_{n+2} + H_{n+3}) - (H_n + H_{n+1}) \quad (2.8)$$

Dengan F_n adalah nilai *Fraser* terhitung dan H_n dan data pada titik ke n



Gambar 2.8 Hasil Menggunakan *Filter Fraser*

2.6.3 *Filter Karous-Hjelt*

Filter Karous-Hjelt adalah *filter* yang diciptakan dari konsep medan magnet yang berhubungan dengan adanya aliran arus. Dalam penggunaannya *Filter* ini akan menghitung adanya rapat arus pada kedalaman tertentu. Dari proses inilah muncullah Rapat Arus Ekuivalensi (RAE). Posisi rapat arus pada kedalaman tertentu inilah yang berfungsi menguraikan lebar dan kemiringan sebuah anomali (Karous dan Hjelt, 1983).

Hasil menggunakan *filter Karous-Hjelt* menunjukkan profil kedalaman dari rapat arus saat ini yang didapat dari nilai komponen vertikal medan magnet pada setiap titik. Secara numerik *filter Karous Hjelt* dapat ditulis dengan persamaan (Karous dan Hjelt, 1983):

$$KH_n = 0.102H_{n-3} - 0.059H_{n-2} + 0.561H_{n+1} + 0.059H_{n+2} - 0.102H_{n+3} \quad (2.9)$$

Dengan KH_n adalah nilai *Karous-Hjelt* terhitung dan H_n adalah data pada titik ke n

2.7 RAE (Rapat Arus Ekuivalen)

Rapat Arus Ekuivalensi adalah aliran muatan melalui daerah penampang tertentu pada keadaan konduksi. Dalam SI, rapat arus memiliki satuan Ampere per meter persegi (A/m^2). Rapat arus adalah aliran muatan pada daerah penampang tertentu pada titik penghantar (konduktor) yang diwakili oleh J . Rumus untuk rapat arus adalah:

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.10)$$

Dengan I adalah kuat arus (A) dan A adalah luas penampang (m^2).

Hubungan antara RAE dengan konduktivitas dan resistivitas dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$J = \frac{I}{A} = \sigma \frac{V}{l} \quad (2.11)$$

$$\text{Dimana } \sigma = \frac{1}{\rho}$$

Dengan I adalah kuat arus (A), A adalah luas penampang (m^2), σ adalah konduktivitas (Mho/m), V adalah beda potensial (volt) dan l adalah panjang (m).

Resistivitas (ρ) adalah kapasitas suatu bahan untuk mengalirkan aliran listrik yang bergantung pada besar medan listrik dan rapat arus. Semakin besar resistivitas

suatu bahan, semakin besar pula medan listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan rapat arus. Konduktivitas adalah sesuatu yang berkebalikan dengan resistivitas. Nilai konduktivitas adalah proporsi antara sifat listrik dan konduktivitas termal.

Tabel 2.2 Nilai Resisitivitas Batuan (Telford et al., 1990):

Material	Nilai Resistivitas (Ohm.meter)
Lempung	1 – 100
Pasir	1 – 1000
Lanau	10 – 200
Batu Lumpur	3 – 70
Batu Pasir	50 – 500
Batu Kapur	100 – 500
Air Permukaan	10 – 100
Air Tanah	0.5 – 300
Air Laut	0.2
Breksi	75 – 200
Tufa Vulkanik	20 – 100

Untuk mendapatkan nilai RAE dengan data yang diperoleh saat pengukuran dalam metode VLF-EM ini, rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta Z}{2\pi} J\left(\frac{\Delta x}{2}\right) = -0.102H_{-3} + 0.059H_{-2} - 0.561H_{-1} + 0.561H_1 - 0.059H_2 + 0.102H_3 \quad (2.12)$$

Dengan Δz adalah kedalaman (m), J adalah rapat arus ekuivalen (%), Δx adalah spasi pengukuran (m) dan H adalah data sudut *tilt angle* (%)

Hasil data *tilt* dengan memanfaatkan *filter linier* dari persamaan di atas yang ditentukan untuk kedalaman yang berbeda menunjukkan bentuk rapat arus yang sama untuk kedalaman yang berbeda di sepanjang lintasan. Sumbu datar dari bentuk menunjukkan titil-titik stasiun pengukuran. Sementara itu, sumbu arah vertical menunjukkan kedalaman pembagian setiap stasiun pengukuran.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Penelitian

Pengambilan data *Very Low Frequency* (VLF-EM) dilakukan selama 2 hari pada tanggal 17-18 April 2021.

3.2 Data Penelitian

Data Penelitian yang akan diambil sebagai berikut:

1. Koordinat Lintang dan Bujur.
2. Waktu pengambilan data (tanggal, hari dan jam).
3. Frekuensi yang dipakai
4. Pembacaan set VLF-EM

3.3 Peralatan dan Perangkat Lunak Penelitian

Peralatan dan perangkat lunak yang nantinya akan digunakan untuk penelitian sebagai berikut:

3.3.1 Peralatan

Peralatan-peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

- | | |
|----------------|-----------|
| 1. Set VLF-EM | 4. Kompas |
| 2. Laptop | 5. GPS |
| 3. Set meteran | 6. Payung |

3.3.2 Perangkat Lunak

Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Microsoft Excel*
2. *Surfer*
3. *WinVLF*

4. RockWork 15

3.4 Desain Survey Very Low Frequency (VLF-EM)

Proses pengambilan data lapangan menggunakan 1 set alat VLF-EM dengan mode yang digunakan yaitu *tilt mode*. Metode pengambilan dijelaskan secara rinci sebagai berikut :

1. Membuat Desain *survey* penelitian.



Gambar 3.1 Desain akuisisi penelitian

2. Membuat semua parameter dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 Parameter Akuisisi *Survey* VLF-EM

Parameter	Nilai Parameter
Jumlah Lintasan	3 lintasan
Panjang setiap lintasan	300 m
Spasi titik pengukuran	5 m
Jumlah titik pengukuran tiap lintasan	60 titik
Frekuensi pengukuran	19.700 Hz
Spasi antar lintasan	100

3. Membentangkan meteran dan mencatat koordinat awal.
4. Memulai penelitian dan mencatat hasilnya.

3.5 Akuisisi Data

Beberapa akuisisi lapangan yang dilakukan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Administrator memasukkan beberapa batasan (stasiun, jarak antar stasiun, nomor trek dan pengulangan pemancar) dengan menggunakan tombol [SET UP].
 2. Nanti semuanya telah terisi, lalu pada saat itu mulailah akuisis dengan menekan [MULAI].
 3. Setelah akuisisi pada titik tertentu dianggap memadai, tekan [MULAI]. lagi untuk berhenti. (Tombol MULAI menyerupai sakelar).
 4. Mengulang langkah 2-4 untuk setiap grid pengukuran.
 5. Memasukkan hasil data pengukuran ke tabel pengukuran.
 6. Meng-input data yang telah diperoleh pada akuisisi (jarak, tilt, *in-phase*, dan *quadrature*) dan selanjutnya akan diolah menggunakan *Microsoft Excel*.
 7. Membuat grafik dengan menggunakan program *WinVLF*
 8. Membuat grafik antara *Filter moving average* dengan *Filter Fraser* dan menghitung RAE (Rapat Arus Ekuivalen).
 9. Menghasilkan profil bawah permukaan dari program *Surfer* dan *RockWork*
- 15.

3.6 Langkah-Langkah Pengolahan Data

Langkah-langkah pengolahan data *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) sebagai berikut:

3.6.1 Langkah-langkah Software Surfer

Langkah-langkah indentifikasi struktur bawah tanah menggunakan *software surfer* dapat dilakukan sebagai berikut:

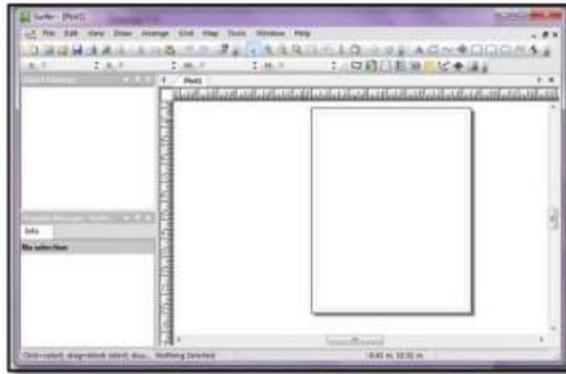
1. Memasukkan *file* untuk *software surfer* dari data yang telah diolah dengan *Microsoft Excel*

X : jarak

Y : kedalaman

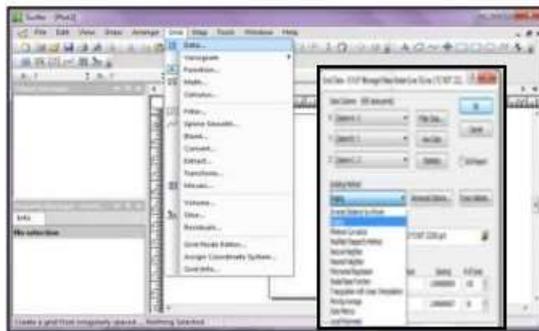
Z : nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalen)

2. Membuka tampilan jendela pada program surfer dapat dilihat pada gambar 3.2



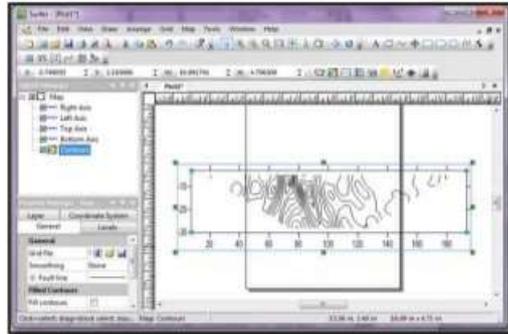
Gambar 3.2 Tampilan Jendela Program Surfer

3. Melakukan *grid* pada *software surfer* dengan meng-klik grid data. Setelah itu, membuka file data yang disimpan dan menentukan file yang berisi kolom, X, Y dan Z. Selanjutnya memilih gridding method pilih OK seperti pada gambar 3.3.



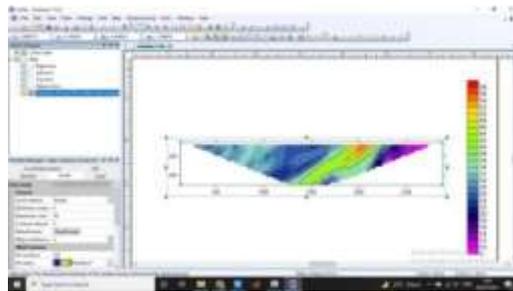
Gambar 3.3 Tampilan Kriging Data Penelitian

- Menampilkan pemetaan data pada *surfer* dengan membuka grid data yang telah dibuat. Kemudian, memilih *new contour map* dan *file grid* akan terbuka seperti gambar 3.4.



Gambar 3.4 Tampilan Pemetaan *Grid Data*

- Memberi warna (*fill colours*) dan menampilkan *colour scale* pada *contours* dapat dilakukan pada jendela samping lembar kerja (gambar 3.5).



Gambar 3.5 Jendela *Fill Colors* dan *Color Scale*

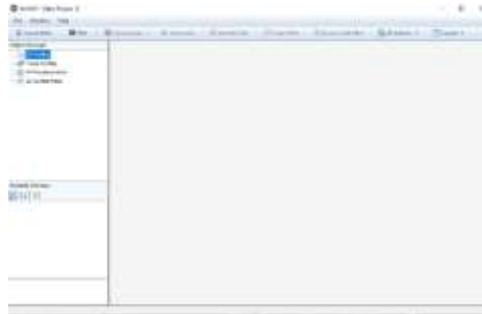
- Menghasilkan profil bawah permukaan dari program *surfer* yang menampilkan struktur bawah permukaan dengan posisi vertikal.

3.6.2 Langkah-langkah *Software WinVLF*

Langkah-langkah identifikasi struktur bawah tanah menggunakan *software WinVLF* dapat dilakukan sebagai berikut:

- Membuat *file* masukan *WinVLF* dari data yang telah diolah menjadi format *.txt*.

2. Membuka tampilan jendela pada program *WinVLF* dapat dilihat pada gambar 3.6.



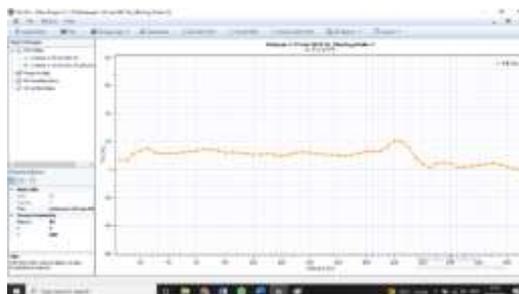
Gambar 3.6 Tampilan Jendela Software *WinVLF*

3. Data yang telah diolah langsung di *Import* dengan mengklik *import data*. Selanjutnya, pilih *file* dengan *.txt* dan *Open file*. File yang dibuka akan menjadi seperti gambar 3.7.



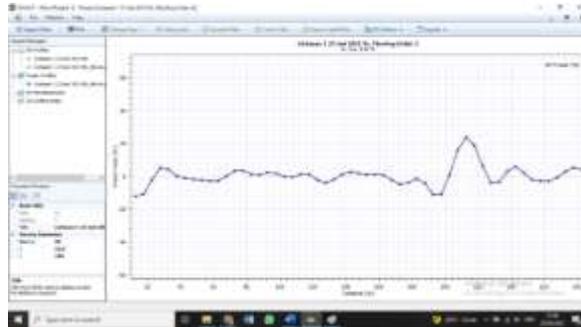
Gambar 3.7 Tampilan Data Saat Dibuka Pada *WinVLF*

4. Selanjutnya, gunakan *Filter moving avarage* untuk memperhalus data. Cara menggunakan *Filter moving avarage* dengan mengklik *smoothing Filter* dan pilih ok. Hasil dari *Filter moving avarage* ini dapat dilihat seperti gambar 3.8.



Gambar 3.8 Hasil Menggunakan *Filter Moving Avarage*

- Selanjutnya, gunakan *Filter Fraser* untuk mengetahui kekuatan anomali. Cara menggunakan *Filter Fraser* dengan mengklik *Fraser Filter* pilih nama ok. Hasil dari *Filter Fraser* ini dapat dilihat seperti gambar 3.9.



Gambar 3.9 Hasil Dari Menggunakan *Filter Fraser*

3.6.3 Langkah-langkah *Software RockWorks 15*

Langkah-langkah identifikasi struktur bawah tanah menggunakan *software RockWorks 15* dapat dilakukan sebagai berikut:

- Meng-klik software *Rockwork 15*, tampilan yang akan muncul sebagai berikut:



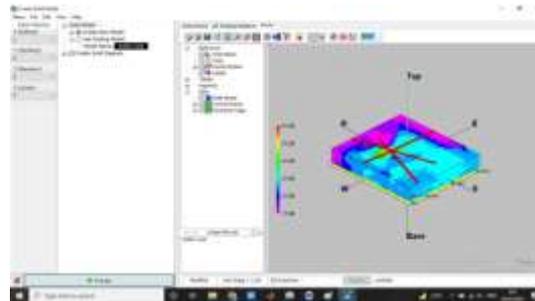
Gambar 3.10 Tampilan Jendela Program *Rockwork 15*

- Mengisi pada kolom *utilities* sesuai dengan inputan yang diperlukan seperti *longitude*, *latitude*, kedalaman, dan nilai RAE dari ketiga lintasan (Gambar 3.11).

Station	X	Y	Z
1	1000000.000	1000000.000	1000000.000
2	1000000.000	1000000.000	1000000.000
3	1000000.000	1000000.000	1000000.000
4	1000000.000	1000000.000	1000000.000
5	1000000.000	1000000.000	1000000.000
6	1000000.000	1000000.000	1000000.000
7	1000000.000	1000000.000	1000000.000
8	1000000.000	1000000.000	1000000.000
9	1000000.000	1000000.000	1000000.000
10	1000000.000	1000000.000	1000000.000

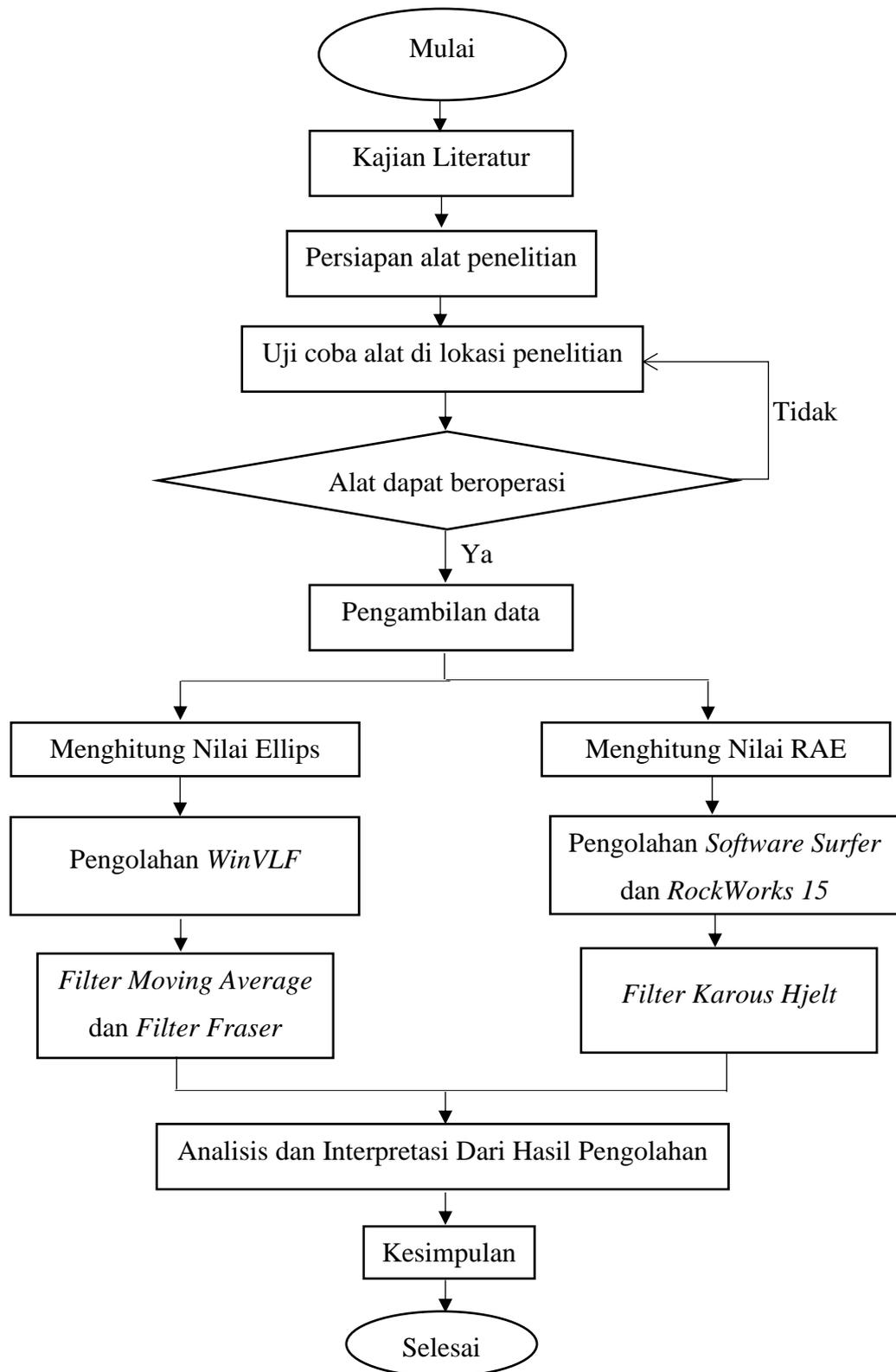
Gambar 3.11 Tampilan Data Program Rockwork 15

- Menyimpan *file utilities* dengan cara klik *file* → *Save as* → *save as type* (*.atd) → *save*
- Melakukan *scant* data dengan cara klik *Scant data sheet* dan pastikan input *columns X column* (1), *Y column* (2), dan *Z column* (3) → *Process*.
- Membuat model solid 3D dengan cara klik *solid* → *model* → *Process*. Maka akan menghasilkan (Gambar 3.12):



Gambar 3.12 Hasil Pengolahan data

3.7 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pengambilan data lapangan dilakukan di Desa Sidolaju, Kecamatan Widodaren, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. Dilihat dari peta geologi, wilayah pemeriksaan berada di Jalur Solo yang memiliki endapan lawu. Penelitian ini menggunakan metode geofisika, khususnya *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM). Pengambilan data dilakukan dalam 3 lintasan dengan panjang lintasan masing-masing 300 meter, sekat 5 meter dan perulangan 19.700 Hz.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran gas biogenik pada daerah tersebut. Hasil penelitian di lapangan diperoleh berupa data *In-Phase*, *Quadrature*, *Tilt (%)*, *total field*, posisi koordinat (*longitude* dan *latitude*) dan ketinggian (elevasi). Data-data tersebut akan diolah menggunakan perangkat lunak yaitu *Microsoft Excel* untuk mendapat nilai ellips dan RAE (Rapat Arus Ekuivalensi).

Tilt dan elipstisitas adalah dua parameter yang saling berhubungan. *Tilt* adalah data yang didapatkan dari alat pada saat pengukuran di lapangan. Sedangkan, eliptisitas diperoleh dari hasil perbandingan antara *quadrature* dan *in-phase* kemudian dikalikan 100%. Informasi yang didapat dari *tilt* dan eliptisitas adalah mampu merepresentasikan kondisi geologi setempat yang lebih konduktif maupun resistif. Struktur bawah permukaan memiliki nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalensi) pada setiap kedalaman. Secara teori nilai RAE menggambarkan kondisi fisik struktur bawah permukaan di suatu daerah. Nilai RAE yang tinggi menandakan bahwa daerah tersebut memiliki konduktivitas yang tinggi pula.

Pada saat pengukuran terdapat *noise* yang akan mengganggu data. Data yang masih terdapat *noise* pada saat pengukuran akan terlihat sangat tidak beraturan sehingga sulit dianalisis. *Noise* ini terjadi akibat gangguan elektromagnetik yang berada di sekitar lokasi penelitian. Gangguan elektromagnetik dihasilkan oleh bahan konduktif yang mampu menciptakan medan magnet maupun medan listrik seperti kabel listrik, barang elektronik atau cuaca kurang mendukung. Pada penelitian kali ini *noise* dihasilkan oleh barang elektronik yang di bawa saat penelitian serta cuaca yang kurang mendukung.

Pengolahan data akan menggunakan beberapa perangkat lunak seperti *Microsoft Excel*, *WinVLF*, *surfer* dan *Rockwork 15*. *Microsoft Excel* digunakan untuk mengelola data *In-Phase*, *Quadrature* dan *Tilt (%)* guna mendapatkan nilai eliptisitas dan RAE (Rapat Arus Ekuivalensi). Sedangkan, *WinVLF* digunakan untuk memakai *Filter moving average* yang berfungsi untuk menghilangkan *noise* dan *Filter Fraser* untuk memperjelas anomali. Pada *Filter moving average* memakai data *tilt* dan elipstisitas. Kemudian, *Filter Fraser* menggunakan data *tilt*. *Surfer* digunakan untuk menampilkan profil bawah permukaan dengan menggunakan nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalensi). Software *Rockwork 15* digunakan untuk memodelkan secara 3D pada daerah penelitian.

4.1.1 Filter Moving Average

Filter pertama yang digunakan adalah *Filter moving avarage*. *Filter* ini berfungsi untuk memisahkan *noise* dengan frekuensi rendah sehingga data selanjutnya akan lebih halus. Data yang memiliki frekuensi tinggi dianggap sebagai Sinyal. Sementara itu, data dengan frekuensi yang rendah dianggap sebagai *noise*.

Dengan cara ini, ketika menggunakan *filter ini*, sinyal yang dipilah adalah anomali konduktif di bawah permukaan.

Hasil *filter moving average* dari akan digambarkan oleh hubungan jarak, *tilt* dan elips. Dengan asumsi adanya persilangan pada grafik antara *tilt* dan eliptisitas menguraikan daerah tersebut sebagai konduktif dan sebagai reaksi terhadap anomali. Grafik *tilt* ditampilkan dengan warna biru sedangkan eliptisitas ditampilkan dalam warna oranye.

a. Lintasan A-A'



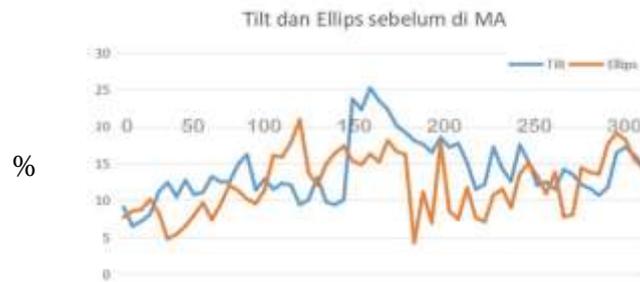
Gambar 4.1 Grafik *Tilt* dan Eliptisitas Sebelum *Moving Average* Pada Lintasan A-A'

b. Lintasan B-B'



Gambar 4.2 Grafik *Tilt* dan Eliptisitas Sebelum *Moving Average* Pada Lintasan B-B'

c. Lintasan C-C'

Gambar 4.3 Grafik *Tilt* dan Eliptisitas Sebelum *Moving Average* Pada Lintasan C-C'

Pada gambar di atas merupakan grafik tanpa menggunakan *Filter moving average*, yang mana grafik menunjukkan bahwa data masih kasar atau terdapat banyak *noise*. Oleh karena itu perlu dilakukan *Filter moving average* untuk menghilangkan *noise* yang terdapat pada saat pengambilan data. Setelah dilakukan *Filter moving average* grafik akan terlihat lebih halus dibandingkan sebelumnya.

a. Lintasan A-A'

Gambar 4.4 Grafik *Tilt* dan Eliptisitas Setelah *Moving Average* Pada Lintasan A-A'

b. Lintasan B-B'

Gambar 4.5 Grafik *Tilt* dan Eliptisitas Setelah *Moving Average* Pada Lintasan B-B'

c. Lintasan C-C'

Gambar 4.6 Grafik *Tilt* dan Eliptisitas Setelah *Moving Average* Pada Lintasan C-C'Tabel 4.1 Simbol Pada *Filter Moving Average*

	:Menunjukkan adanya cross antara tilt dengan ellips. Hal ini menunjukkan daerah yang lebih konduktif dibandingkan sekitarnya.
	:Menunjukkan adanya pola ellips rendah dan anomali tilt yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa daerah ini merupakan konduktor yang baik, tetapi lapisan penutupnya resistif atau konduktor buruk, tetapi lapisan penutupnya konduktif.
	: Menunjukkan adanya pola dan tanda elips dan tilt yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa daerah merupakan konduktor buruk.

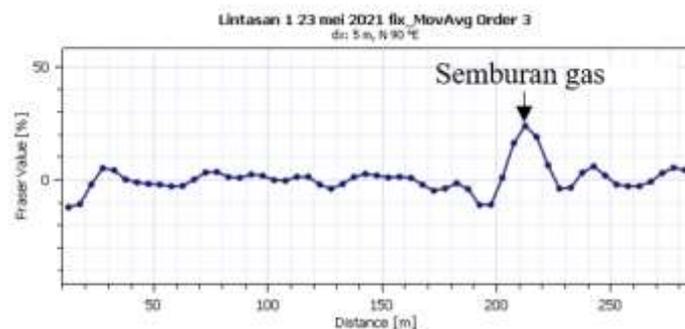
Berdasarkan gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 yang ditunjukkan dengan berwarna hijau yang disebut dengan anomali. Grafik di atas menunjukkan bahwa hasil dari *filter moving average* lebih halus karena telah dipisahannya *noise* atau gangguan yang didapat pada saat pengukuran. Dari hasil *Filter moving average* dapat diketahui area-area yang konduktif. Namun, masih belum dapat melihat distribusi konduktivitas ataupun resistivitas secara jelas beserta kedalamannya yang didapat.

4.1.2 Filter Fraser

Filter selanjutnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah *filter fraser*. *Filter fraser* berfungsi untuk menjelaskan anomali. Anomali tersebut terlihat dari grafik hubungan jarak dengan *filter fraser*. Nilai *tilt* yang tinggi dari hasil *filter fraser* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara *peak* minimum dan *peak* maksimum. *Peak* minimum adalah keadaan sebelum kenaikan dan *peak* maksimum adalah keadaan setelah mengalami kenaikan. Dengan asumsi nilai *tilt* tidak berubah sama sekali, maka daerah tersebut merupakan daerah resistif.

a. Lintasan A-A'

Grafik hubungan antara jarak dan *tilt* yang kemudian digunakan *filter fraser* pada jalur A-A' ditampilkan pada Gambar 4.7. Pada Gambar 4.7 diketahui adanya anomali yang terjadi dari jarak 200 sampai 230 meter. Dimana, *peak* maksimum adalah jarak 210 m. Perbedaan dalam nilai *tilt* kemudian *filter fraser* bernilai tinggi disebut sebagai keanehan tubuh konduktif. Demikian pula, perbedaan kualitas adalah 30% (- 5% hingga 25%).

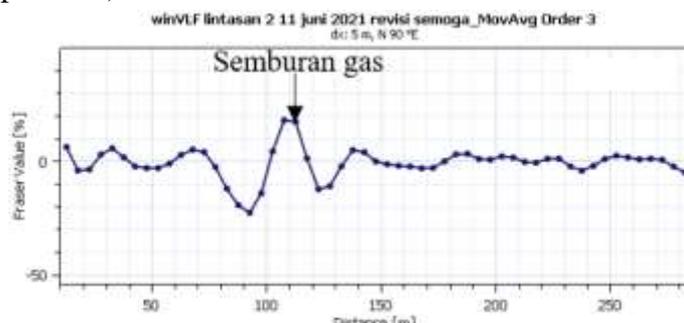


Gambar 4.7 Grafik Hubungan Jarak dengan Tilt Setelah *Filter Fraser* Pada Lintasan A-A'

b. Lintasan B-B'

Pada lintasan B-B' memiliki grafik yang menunjukkan adanya anomali di lintasan ini. Anomali berada pada jarak 100 sampai 130 meter dan ditunjukkan

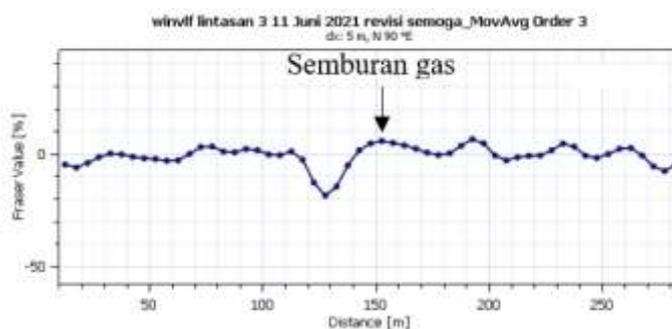
dengan adanya perbedaan antara *peak* minimum dan *peak* maksimum. Perbedaan nilai *tilt* setelah menggunakan *Filter Fraser* yang bernilai tinggi disebut sebagai anomali benda konduktif. Perbedaan nilai tersebut sebesar 35% (-20% sampai 15%).



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Jarak dengan *Tilt* Setelah *Filter Fraser* Pada Lintasan B-B'

c. Lintasan C-C'

Sama seperti kedua lintasan sebelumnya bahwa lintasan C-C' memiliki grafik hubungan antara jarak dan *tilt* yang menunjukkan adanya anomali yang ditemukan. Anomali pada lintasan C-C' berada pada jarak 130 sampai 150 meter dan ditandai dengan adanya *peak* minimum dan *peak* maksimum di lintasan ini. Perbedaan nilai *tilt* yang tinggi ditandai sebagai anomali benda konduktif dengan sebesar 30% (-25% sampai 5%).



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Jarak dengan *Tilt* Setelah *Filter Fraser* pada Lintasan C-C'

4.2 Interpretasi Data

Berdasarkan peta geologi Lembar Ngawi, lokasi penelitian berada pada Formasi Lawu. Jenis batuan penyusun yang berada pada Formasi Lawu adalah batupasir vulkanik, batu lempung lanau-vulkanik, breksi vulkanik dan lava. Batu pasir vulkanik memiliki ciri yaitu berwarna abu-abu kecoklatan dan berlapis 15-70m. Selanjutnya, batu lempung lanau vulkanik memiliki ciri berwarna abu-abu, coklat kekuningan dan agak keras serta berlapis 20-110 m. Kemudian, breksi vulkanik yang berwarna abu-abu gelap dan kepingan andesit yang berukuran 4-15 cm. Selain itu, lava memiliki ciri berwarna abu-abu gelap.

Pada interpretasi metode *Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM)* menggunakan *Filter Karous Hjelt* yang memiliki berfungsi untuk menampilkan profil bawah permukaan dalam bentuk 2D. Perangkat lunak yang digunakan yaitu *Surfer* dengan inputan jarak, kedalaman dan nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalensi).

4.2.1 *Filter Karous-Hjelt*

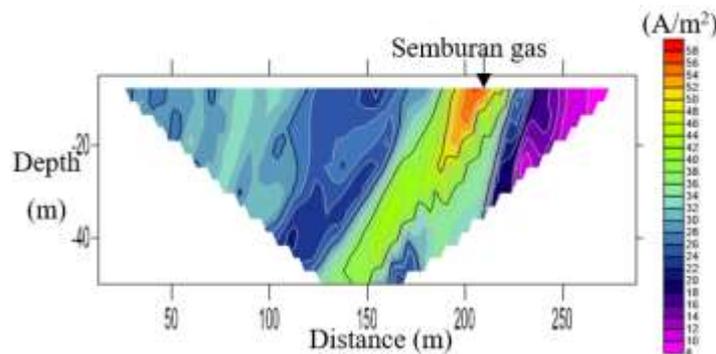
Filter ketiga yang digunakan yaitu *Filter Karous-Hjelt* yang berfungsi sebagai membuat profil bawah permukaan berdasarkan data RAE (Rapat Arus Ekuivalensi). Semakin tinggi nilai RAE maka daerah tersebut lebih konduktif daripada sekitarnya. Sedangkan, nilai RAE yang rendah menunjukkan daerah yang kurang konduktif. Pada penelitian ini bahwa kedalaman yang didapat yaitu 50 m.

Hasil dari *Filter Karous-Hjelt* dimodelkan dalam bentuk 2D dengan menggunakan perangkat lunak yaitu *Surfer*. Data yang akan di-*input* berupa data jarak, kedalaman dan nilai RAE yang telah ternormalisasi. Normalisasi RAE digunakan untuk memberikan skala yang sama pada pemodelan disetiap lintasan. Hasil *output* dari model 2D ditampilkan dalam skala 0 sampai tidak terhingga

dengan degradasi warna dari ungu hingga merah. Nilai RAE berbanding lurus dengan konduktivitas. Nilai RAE tinggi menandakan daerah tersebut bersifat konduktif yang divisualisasikan dengan warna kuning hingga merah. Begitupun nilai RAE rendah menandakan daerah tersebut bersifat resistif dan divisualisasikan dengan warna biru muda hingga ungu. Selain itu, warna hijau divisualisasikan bahwa batuan penyusun yang dimuntahkan akibat aktivitas vulkanik.

a. Lintasan A-A'

Pada lintasan A-A', hasil pengolahan data dapat dilihat pada gambar 4.10. Pada gambar tersebut terdapat sebuah anomali sebaran gas biogenik berdasarkan nilai RAE (Rapar Arus Ekuivalen) ditandai dengan nilai yang tinggi. Anomali ini divisualisasikan dengan warna kuning hingga merah dan berada pada jarak 200 sampai 230 meter.



Gambar 4.10 Hasil Pengolahan Data Lintasan A-A'

Anomali sebaran gas pada lintasan A-A' diindikasikan dengan adanya anomali konduktif. Anomali konduktif memiliki nilai RAE yang tinggi dan memiliki konduktivitas yang baik. Anomali konduktif dari hasil *Filter Karous Hjelt* pada lintasan A-A' memiliki kemiripan dengan keberadaan anomali berdasarkan hasil *Filter Fraser*. Pada *Filter Fraser* jarak yang didapatkan sesuai dengan menggunakan *Filter Karous Hjelt*.

Hasil data ditampilkan dalam bentuk pola pencitraan RAE. Pola pencitraan RAE yang ditampilkan dalam bentuk skala dari nilai 0 hingga 58 (warna ungu hingga merah). Nilai RAE rendah yang disebut dengan anomali resistif ditandai dengan warna ungu hingga biru. Sedangkan, nilai RAE tinggi atau anomali konduktif ditandai dengan warna kuning hingga merah. Untuk warna hijau diinterpretasikan bahwa batuan penyusun yang dimuntahkan akibat aktivitas vulkanik pada masa lampau.

Pada lintasan A-A' dapat diinterpretasikan sebagai batupasir gunungapi yang memiliki nilai resistivitas $>75 \Omega\text{m}$ (Romlah:2019). Hasil interpretasi ini diperkuat dengan anomali resistif yang memiliki tingkat resistivitas yang tinggi. Berdasarkan referensi dari Telford *et.al.* (1990) dengan nilai resistivitas batupasir yaitu 50-500 Ωm . Selain itu, interpretasi diperkuat berdasarkan peta geologi lembar ngawi yang terdapat di lokasi penelitian yang menyatakan bahwa adanya batuan pasir dari permukaan hingga kedalaman 250 meter.

Batuan ini dimuntahkan akibat aktivitas vulkanik pada masa lampau. Batupasir gunungapi ini memiliki porositas yang baik dalam bermigrasinya gas biogenik serta air. Gas biogenik serta air sempat menyembur ke permukaan pada tahun 2018. Hal ini terjadi karena adanya tekanan dari air yang menekan keluar ke permukaan yang biasa disebut tekanan geser. Semakin kecil pori-pori pada batuan semakin besar tekanan geser yang diperlukan (Sukandarumidi:2018).

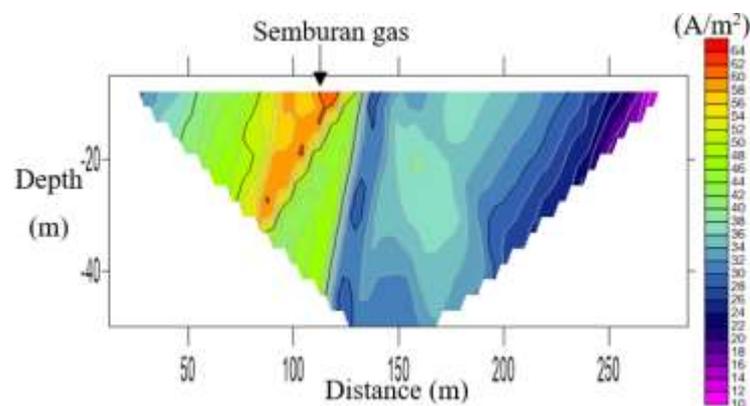
Pada hasil pengolahan data yang berada lintasan A-A' ini terdapat 3 zona. Pertama yaitu zona semburan yang berada di anomali konduktif dan divisualisasikan sebagai warna kuning hingga merah diduga sebagai jalur menyemburnya gas biogenik serta air. Kedua yaitu zona rembesan yang

divisualisasikan sebagai warna hijau dan diduga sebagai gas biogenik yang merembes pada bagian zona tersebut. Sedangkan, ketiga yaitu zona bukan rembesan yang berada di anomali konduktif dan divualisasikan sebagai warna ungu hingga biru yang tidak terdapat gas biogenik di zona tersebut.

Ketiga zona dibedakan berdasarkan beda tekanan yang berada pada lokasi penelitian. Tekanan pusat yang mendorong air dan gas biogenik menyembur ke permukaan berada pada zona semburan. Karena tekanan pusat yang bermigrasi ke permukaan serta batupasir memiliki porositas yang baik sehingga terjadilah zona rembesan dimana gas biogenik dan air berada di zona tersebut. Pada zona bukan rembesan tidak ditemukan gas biogenik dan air karena tekanan pada daerah tersebut tidak sebesar di zona semburan maupun rembesan.

b. Lintasan B-B'

Pada lintasan B-B', hasil pengolahan data dapat ditampilkan pada gambar 4.11. Pada lintasan tersebut terdapat adanya anomali sebaran gas biogenik berdasarkan nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalen). Anomali sebaran gas biogenik berada pada jarak 100 sampai 130 meter. Anomali sebaran gas biogenik ditunjukkan dengan nilai RAE yang tinggi dan visualisasi warna kuning hingga merah.



Gambar 4.11 Hasil Pengolahan Data Lintasan B-B'

Anomali sebaran gas pada lintasan B-B' disebut sebagai anomali konduktif. Anomali konduktif adalah daerah yang memiliki konduktivitas yang sangat baik dibandingkan sekitarnya dengan nilai RAE yang tinggi. Anomali konduktif dari hasil *Filter Karous Hjelt* pada lintasan B-B' sesuai dengan keberadaan anomali konduktif berdasarkan *Filter Fraser*. Jarak yang terdapat pada anomalipun sama juga pada *Filter Fraser* dan *Karous Hjelt*.

Hasil pengolahan data ditampilkan dalam bentuk RAE dalam skala dari nilai 0 A/m² hingga 64 A/m² (warna ungu hingga merah). Nilai RAE rendah disebut dengan anomali resistif ditandai dengan warna ungu hingga biru. Selain itu, nilai RAE tinggi atau anomali konduktif ditandai dengan warna kuning hingga merah. Untuk warna hijau diinterpretasikan bahwa mengikuti batuan disekitarnya.

Pada lintasan B-B' dapat diinterpretasikan sebagai batupasir vulkanik seperti pada lintasan A-A'. Interpretasi ini berdasarkan nilai resistivitas yang didapat yaitu >68,3 Ωm (Romlah:2019). Hasil interpretasi ini diperkuat dengan adanya anomali resistif yang memiliki ciri nilai resistivitas yang tinggi. Berdasarkan referensi dari Telford *et.al.* (1990) bahwa nilai resistivitas batu pasir yaitu 50-500 Ωm. Selain itu, interpretasi diperkuat berdasarkan peta geologi lembar ngawi yang terdapat di lokasi penelitian yang menyatakan bahwa adanya batuan pasir dari permukaan hingga kedalaman 250 meter.

Batupasir gunungapi ini memiliki sifat *permeable* yang memudahkan migrasinya gas biogenik serta air. Namun, pada struktur yang menjadi bagian penutupnya memiliki sifat *impermeable* yang membuat gas biogenik serta air tidak dapat menembus ke permukaan. Pada tahun 2018, gas biogenik serta air pernah menyembur ke permukaan. Proses menyemburnya ini terjadi karena

adanya tekanan dari dalam bumi yang menekan keluar ke permukaan yang biasa disebut dengan tekanan geser. Semakin kecil pori-pori pada batuan semakin besar tekanan geser yang diperlukan (Sukandarumidi:2018).

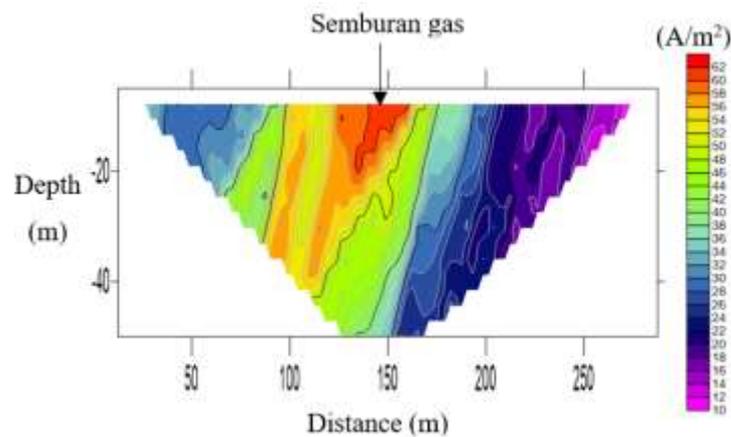
Pada hasil pengolahan data yang berada lintasan B-B' ini terdapat 3 zona seperti pada lintasan sebelumnya. Zona pertama yaitu zona semburan yang diduga sebagai jalur migrasinya gas biogenik serta air dan divisualisasikan warna kuning hingga merah. Zona kedua yaitu zona rembesan yang diduga sebagai gas biogenik yang merembes dari zona semburan dan divisualisasikan sebagai warna hijau. Terakhir, zona ketiga yaitu zona bukan rembesan yang pada zona ini tidak terdapat gas biogenik dan divisualisasikan sebagai warna ungu hingga biru.

Sama seperti lintasan sebelumnya bahwa lintasan B-B' tiga zona yang dibedakan berdasarkan beda tekanan yang berada pada lokasi penelitian. Tekanan pusat yang mendorong air dan gas biogenik menyembur ke permukaan berada pada zona semburan. Karena tekanan pusat yang bermigrasi ke permukaan serta batupasir memiliki sifat *permeable* sehingga terjadilah zona rembesan dimana gas biogenik dan air berada di zona tersebut. Pada zona bukan rembesan tidak ditemukan gas biogenik dan air karena tekanan pada daerah tersebut tidak sebesar di zona semburan maupun rembesan.

c. Lintasan C-C'

Pada lintasan C-C', hasil pengolahan data dapat ditampilkan pada gambar 4.12. Pada lintasan ini terdapat anomali sebaran gas biogenik berdasarkan nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalen) yang didapat. Anomali ini berada pada jarak 130

sampai 150 meter. Anomali sebaran gas ditunjukkan dengan nilai RAE yang tinggi dan visualisasi warna kuning hingga merah.



Gambar 4.12 Hasil Pengolahan Data Lintasan C-C'

Anomali sebaran gas disebut sebagai anomali konduktif. Anomali konduktif adalah anomali yang memiliki konduktivitas yang sangat baik dibandingkan daerah sekitarnya. Selain itu, anomali konduktif memiliki ciri nilai RAE yang tinggi. Anomali konduktif yang didapat dari hasil *Filter Karous Hjelt* pada lintasan ini sesuai dengan keberadaan anomali berdasarkan *Filter Fraser*.

Hasil data ditampilkan dalam bentuk pola pencitraan RAE yang ditampilkan dalam skala nilai dari nilai 0 hingga 62 (warna ungu hingga merah). Anomali rendah ditandai dengan warna ungu hingga biru. Sedangkan, anomali tinggi ditandai dengan warna kuning hingga merah. Untuk warna hijau diinterpretasikan bahwa mengikuti batuan sekitarnya.

Pada lintasan C-C' diinterpretasikan sebagai batupasir vulkanik seperti pada kedua lintasan sebelumnya. Nilai resistivitas yang didapat yaitu $>50 \Omega\text{m}$ (Romlah:2019). Hasil interpretasi diperkuat dengan adanya anomali resistif yang memiliki nilai resistivitas yang tinggi. Berdasarkan referensi dari Telford *et.al.* (1990) dengan nilai resistivitas batu pasir yaitu 50-500 Ωm . Selain itu, interpretasi diperkuat berdasarkan peta geologi lembar ngawi yang terdapat di

lokasi penelitian yang menyatakan bahwa adanya batuan pasir dari permukaan hingga kedalaman 250 meter.

Batupasir gunungapi ini memiliki sifat *permeable* dalam bermigrasinya gas biogenik serta air. Namun, pada struktur yang menjadi bagian penutupnya memiliki porositas yang kecil sehingga membuat gas biogenik serta air tidak dapat menembus ke permukaan. Pada tahun 2018 gas biogenik serta air sempat menyembur ke permukaan. Hal tersebut terjadi karena adanya tekanan dari air yang menekan keluar ke permukaan yang biasa disebut tekanan geser. Semakin kecil pori-pori pada batuan semakin besar tekanan geser yang diperlukan (Sukandarumidi:2018).

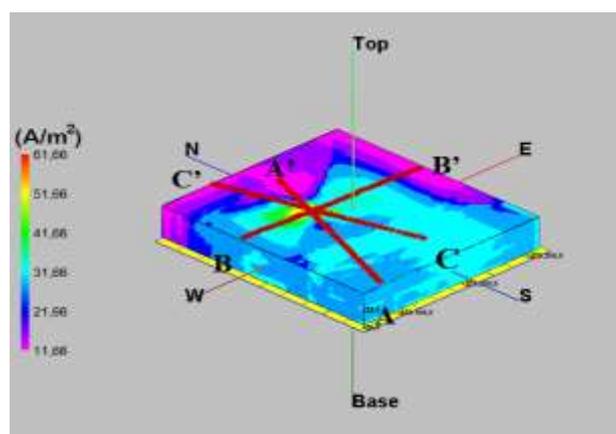
Pada hasil pengolahan data yang berada lintasan ini terdapat 3 zona. Pertama yaitu zona semburan yang divisualisasikan sebagai warna kuning hingga merah diduga sebagai jalur menyemburnya gas biogenik serta air. Kedua yaitu zona rembesan yang divisualisasikan sebagai warna hijau dan diduga sebagai gas biogenik yang merembes pada bagian zona tersebut. Sedangkan, ketiga yaitu zona bukan rembesan yang divisualisasikan sebagai warna ungu hingga biru yang tidak terdapat gas biogenik di zona tersebut.

Sama seperti dua lintasan sebelumnya bahwa lintasan C-C' juga memiliki tiga zona yang dibedakan berdasarkan beda tekanan yang berada pada lokasi penelitian. Tekanan pusat yang mendorong air dan gas biogenik menyembur ke permukaan berada pada zona semburan. Karena tekanan pusat yang bermigrasi ke permukaan serta batupasir memiliki porositas yang baik sehingga terjadilah zona rembesan dimana gas biogenik dan air berada di zona tersebut. Pada zona bukan rembesan tidak ditemukan gas biogenik pada daerah tersebut,

4.3 Pembahasan

Pengolahan data *Filter Karous Hjelt* dengan menggunakan perangkat lunak *surfer* guna mendapatkan profil bawah permukaan serta pada setiap lintasan dan ditampilkan dengan degradasi warna. Skala warna kuning sampai merah (bernilai tinggi) menunjukkan nilai RAE memiliki nilai konduktivitas tinggi atau disebut dengan anomali konduktif. Skala warna hijau berarti nilai konduktivitasnya sama seperti batuan yang berada disekitarnya. Sedangkan, pada skala warna ungu sampai biru (bernilai rendah) menunjukkan nilai RAE memiliki nilai konduktivitas rendah tapi resistivitasnya tinggi disebut dengan anomali resistif.

Hasil analisis data pengukuran dapat sebagai anomali target berdasarkan perbandingan ketiga *Filter* yang digunakan akan dimodelkan dalam bentuk 3D. Pemodelan 3D pada wilayah penelitian bertujuan untuk memudahkan visualisasi serta interpretasi struktur bawah permukaan berdasarkan nilai RAE. Masukan (*input*) data yang digunakan yaitu data *longitude*, *latitude*, kedalaman dan nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalen). Kemudian, akan dimodelkan secara 3D dengan menggunakan *solid model*.



Gambar 4.13 *Solid Model* 3D Lintasan Total

Solid Model 3D divisualisasikan dengan tingkat gradasi warna ungu hingga merah. Gradasi warna yang digunakan adalah warna ungu hingga biru untuk RAE

rendah dan kuning hingga merah termasuk RAE tinggi. Pada gambar 4.13 menunjukkan 3 garis yang menandakan lintasan pengukuran. Garis pertama berada di bagian barat daya hingga timur laut merupakan lintasan A-A'. Garis kedua berada dari barat hingga timur yaitu lintasan B-B'. Terakhir, garis ketiga berada dari tenggara hingga barat laut yang merupakan lintasan C-C'.

Solid model 3D dilakukan guna mengetahui keberadaan sebaran gas biogenik. Nilai RAE tinggi disebut dengan anomali konduktif. Anomali konduktif dalam *solid model* 3D sama seperti *Filter Karous Hjelt* pada perangkat *surfer*. Anomali konduktif diinterpretasikan sebagai sebaran gas biogenik. Selain itu, nilai RAE rendah disebut dengan anomali resistif.

Berdasarkan nilai RAE (Rapat Arus Ekuivalensi) serta kedalaman yang didapat dari hasil perhitungan, pendugaan indikasi gas biogenik pada sumur semburan tidak ditemukan sebuah reservoir gas pada kedalaman tersebut. Namun, berdasarkan data nilai RAE digunakan untuk mengetahui sebaran gas biogenik berdasarkan zona yang didapat. Seperti hasil data yang telah diolah bahwa struktur bawah permukaan pada penelitian ini yaitu didominasi oleh batupasir gunungapi. Selain itu, sebaran gas biogenik dapat diindikasikan dengan adanya zona semburan dan zona rembesan yang berada pada setiap lintasan.

Sebaran gas biogenik yang terperangkap berada di batupasir gunungapi dapat bergerak bebas dan mencapai permukaan ketika menemukan bidang lemah pada lapisan atasnya. Bidang lemah pada penelitian ini diduga berada pada lapisan yang lebih dalam (tidak nampak pada gambar) dan lapisan penutup yang berada di permukaan bumi (*top soil*). Bidang lemah yang berada di *top soil* dapat terjadi karena faktor alam maupun akibat aktivitas manusia. Sumur gas yang berada pada

daerah tersebut menekan keluar ke lapisan *top soil* dan terdapat air sehingga terjadilah semburan air dan gas. Daya semburan air akan makin melemah dengan semakin mengecil semburan jika dibandingkan pada saat semburan terjadi.

Sejarah topografi di desa Sidolaju yang berada pada Formasi Lawu yang meliputi Formasi Kaliabeng. Formasi Kaliabeng terjadi karena pada periode Miosen Akhir-Pliosen, yang merupakan perkembangan yang terdiri dari lingkungan laut yang berbeda. Bagian lingkungan laut yang tersisa ditemukan pada Formasi Kaliabeng pada masa Pliosen (Qilun: 1995).

Menurut Van Bemmelen dalam Setiawan (2014), pada masa Pliosen pernah terjadi aktivitas erupsi gunung api yang berada di selatan Jawa Timur dalam hal ini Gunung Lawu yang mengisi cekungan mandala kendang. Dari aktivitas erupsi tersebut merubah seluruh ekosistem yang pada awalnya adalah sebuah laut dalam menjadi laut dangkal. Aktivitas tektonik yang terjadi menyebabkan terjadinya patahan, pelipatan dan pengekahan pada zona kendang yang berada di bagian selatan Bojonegoro. Sehingga yang awalnya yaitu laut dangkal berangsur-angsur menjadi daratan. Setelah itu terjadilah proses sedimentasi yang berlangsung cepat dan aktivitas tektonik secara terus-menerus mengakibatkan sedimen kaya organik tertimbun erupsi tidak terkompaksi sempurna. Akibatnya timbunan erupsi yang tidak terkompaksi secara sempurna akan membentuk kantong-kantong lumpur bertekanan.

Pada saat erupsi gunung api, terdapat beberapa material yang dimuntahkan seperti, batupasir gunungapi, batu lempung gunungapi, breksi dan lava. Material-material ini sesuai dengan peta geologi lembar Ngawi dalam hal ini yaitu Endapan Lawu. Material dominan dalam Endapan Lawu yang terlebih dahulu dimuntahkan

akan menjadi lapisan paling bawah. Berdasarkan peta geologi, dalam kedalaman yang didapat material dominan yaitu batupasir gunungapi.

Endapan Lawu (QI) adalah perkembangan Holosen paling muda (<10.000 tahun). Tempat Endapan Lawu (QI) berada di atas dan meliputi Formasi Kabuh, Formasi Pucangan dan Formasi Kaliabeng. Dari perkembangan tersebut, susunan yang paling mendasar dan paling mapan adalah Formasi Kaliabeng. Formasi Kaliabeng setua kota Sangiran yang beriklim dasar laut. Sekitar 1,8 juta tahun sebelumnya, ada serangkaian pernyataan tertulis yang mengubah lingkungan dasar laut menjadi rawa. Keunikan ini sesuai dengan hasil penelitian yang diarahkan oleh Rice dan Claypool bahwa gas biogenik ada pada suhu rendah dan terbentuk di rawa-rawa. Jalannya perubahan ekologi ini menyebabkan tersusunnya gas biogenik dan air serta semburan di Desa Sidolaju.

Berdasarkan urutan formasi diatas diperkirakan bahwa gas biogenik yang bermigrasi pada Endapan Lawu (QI) berupa batupasir gunungapi. Batu Pasir merupakan batuan berpori untuk bermigrasinya gas biogenik. Sedangkan, formasi kaliabeng diperkirakan menjadi penutup dari badan lumpur.

4.4 Integrasi

Gas biogenik merupakan gas dangkal, secara geologi pembentukannya berasal dari tumbuh-tumbuhan yang tertimbun dan terendapkan dalam kurun waktu geologi yang lama. Pembentukan tersebut disertai oleh aktivitas biologis yang dilakukan oleh bakteri anaerob yang berada di suhu rendah. Terbentuknya gas biogenik sering terjadi di daerah persawahan, rawa dan danau air tawar.

Pada fenomena ini, fenomena semburan gas biogenik di sertai dengan air dan terdapat satu tempat yang semburannya berupa api. Jika ditinjau dari prosesnya fenomenan ini menjadi bukti nyata dari al-qur'an dalam Surat Al-Qamar ayat 12:

وَفَجَّرْنَا الْأَرْضَ عُيُونًا فَالْتَقَى الْمَاءُ عَلَى أَمْرٍ قَدِّ قُدِّرَ ١٢

Artinya: "Dan kami jadikan bumi memancarkan mata air-mata air, maka bertemulaair-air itu untuk suatu urusan yang ditetapkan" (Q.S. A;-Qamar: 12)

Fenomena semburan air di Desa Sidolaju terjadi karena tekanan oleh gas yang berada di bawah air. Gas yang disebut dengan gas biogenik berada diantara batu lempung dan batu lumpur yang memiliki pori. Pori-poti tersebut akan di isi oleh air dan gas. Setiap batuan memiliki porositas yang berbeda-beda. Sehingga, air maupun gas dapat bergerak bebas diantara butiran-butiran dan membentuk air tanah. Sementara gas akan bermigrasi kelapisan yang berada di atasnya.

Gas biogenik cenderung terakumulasi pada jebakan cekungan lipatan atau patahan. Secara struktur, terakumulasinya gas biogenik terjadi karena adanya batuan penahan diatannya sehingga gas tidak dapat menerobos keluar. Tetapi dengan adanya rekahan ataupun porositas yang tinggi, maka batuan tersebut menjadi celah bagi gas biogenik bermigrasi keluar kepermukaan. Proses migrasi gas melalui celah batuan menjadi makna tersirat ayat al-qur'an dalam surat Al-Baqarah ayat 74:

ثُمَّ قَسَتْ فُلُوبِكُمْ مِنْ بَعْدِ ذَلِكَ فَهِيَ كَالْحِجَارَةِ أَوْ أَشَدُّ قَسْوَةً وَإِنْ مِنَ الْحِجَارَةِ لَمَا يَتَفَجَّرُ مِنْهُ الْأَنْهَارُ وَإِنْ مِنْهَا لَمَا يَشَقُّ فَيُجْرَحُ مِنْهُ الْمَاءُ وَإِنْ مِنْهَا لَمَا يَهْبِطُ مِنْ ٧٤

Artinya: "Kemudian setelah itu hatimu menjad sekeras batu, bahkan lebih keras lagi, Padahal di antara batu-batu itu sesungguhnya ada yang mengalir sungai-sungai dari padanya dan di antaranya sungguh ada yang terbelah lalu keluarlah mata air padanya dan diantaranyasungguh ada yang meluncur jatuh, karena takut kepada Allah. Dan Allah sekali-kali tidak lengah dari apa yang kamu kerjakan" (Q.S. Al-Baqarah : 74).

Di bagian ini dijelaskan bahwa gagasan tentang batu pada dasarnya keras, kata "... di antara batu-batu itu benar-benar ada aliran yang mengalir darinya ..."

menunjukkan bahwa terlepas dari gagasan batu yang keras. Namun demikian, masih layak untuk mengalirkan air (air) karena batuan memiliki sifat permeabel dan porositas yang beragam. Air dan gas di bagian ini memiliki kemiripan dengan gas biogenik yang menempati ruang hampa di batuan permeabel.

Pemahaman yang diperoleh dari potongan bagian di atas adalah bahwa hati kita seharusnya tidak sekeras batu. Meskipun demikian, ia dapat menerima nasihat, analisis, dan kontribusi dari orang-orang di sekitarnya. Anggaplah hati lebih bersemangat daripada batu maka ia tidak dapat berubah, sedangkan dalam bait ini batu dapat berubah jika terus-menerus dijatuhkan oleh air. Anggaplah hati tidak bisa seperti itu, Allah tidak akan lengah dari setiap perbuatan dan aktivitas manusia. Allah Maha Mengetahui dan membalasnya sesuai dengan perbuatannya.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian beserta pengolahan yang telah dilakukan. Sehingga didapatkan hasil serta interpresinya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Anomali RAE yang didapat pada penelitian ini mulai dari nilai 0-68 (A/m^2) pada seluruh lintasan. Nilai RAE yang tinggi sebagai anomali konduktif. Selain itu, nilai RAE yang rendah sebagai anomali resistif. Anomali konduktif ini diindikasikan sebagai adanya gas biogenik. Selain itu, lokasi penelitian ini diinterpretasikan sebagai batupasir gunungapi dengan nilai resistivitas yaitu $> 50 \Omega m$.
2. Sebaran gas biogenik yang berada pada anomali konduktif didapat berdasarkan nilai RAE. Selain itu, diklasifikasikan beberapa zona yang mengindikasikan bahwa gas biogenik berada. Gas biogenik berada pada zona semburan dan rembesan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan yaitu diperluakanya pemahaman terkait metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Selain itu, diperlukannya mengatur frekuensi sesuai hasil yang didapat berdasarkan perhitungan *skin depth* guna mendapatkan kedalaman yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qur'an al Karim. 2005. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: Departemen Agama RI.
- Al-Tarazi E, J Abu Rajab, A Al-Naqa, dan M El-Waheid. (2008), "*Detecting leachate plumes and groundwater pollution at Ruseifa municipal landfill utilizing VLF-EM method*", Journal of Geophysics, Elsevier B.V, All right reserved.
- Antaraneews.com, 2014, Geolog: Sumur Migas Picu Semburan Api-Lumpur Ngawi. <https://www.antaraneews.com/berita/452847/geolog-sumur-migas-picu-api-lumpur-ngawi> (diakses 20 Desember 2020).
- Arifin L. 2010. *Distribusi Lapisan Batuan Sedimen yang Diduga Mengandung Gas Biogenik dengan Metode Tahanan Jenis di Pantai Saronggi, Sumenep Madura*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 2. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.
- Astawa, Noman, Lugra, Wayan, Wahib, Abdul. 2007. *Indikasi Keberadaaan Gas Biogenik di Delta Sungai Cimantuk Berdasarkan Dara Seismik dan Bor, Indramayu, Jawa Barat*. Jurnal Geologi Kelautan, Vol. 5 No. 2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.
- Chandra, B. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Jakarta
- Datun M., dan Rumidi S., 1985, Laporan Geologi Lembar Ngawi Jawa imur Sekala 1:100.000, Proyek Pemetaan Geologi Dan Interpretasi Foto Udara Bidang Pemetaan Geologi: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Datun M. dkk, 1996, *Peta Geologi Lembar Ngawi Jawa*, Edisi Kedua
- Detik.com, 2018, Gas Pernah Menyembur di Dekat Semburan Air Campur Lumpur di Ngawi. <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-4152043/gas-pernah-menyembur-di-dekat-semburan-air-campur-lumpur-di-ngawi> (diakses 21 Desember 2020)
- Febria, A. & Sismanto. 2009. *Estimasi Akuran Sungan Bawah Tanah dengan Menggunakan Geofisika VLF em, Moe Tilt di Daerah Dengok dan Mgrejok Wetan, Gunugkidul Yogyakarta*. Prosiding Ilmiah XXV HFI Jateng dan DIY: ISSN 0853-0823.
- Fraser, D.C. (1969). *Contouring Of VLF EM Data*. *Geophysics*. Vol. 34 No. 6. 958-967.
- Gadallah, R.M., & Fisher, R. (2009). *Exploration Geophysics*. Berlin: Springer

- Gani, Harry S. 2016. *Biogenic Gas: Sebuah Prospektivitas Energi Non-Konvensional di Daerah Pertanian? (Studi Kasus Pada Daerah Karawang, Jawa Barat)*. Jurnal Teknik Geologi Universitas Padjadjaran. Vol. 1 hal. 111-115.
- Hakim, Agung M. Sasmita, dkk. 2014. *Modul Eksplorasi Elektromagnetik*. Lampung: Universitas Lampung
- Hiskiawan, P. 2011. *Akuisisi Data VLF-EM Menggunakan Teknik Konvensional dan Teknik Gradio*. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia Vol. 11 (1) hal 18-22.
- Kaikkonen P. 1979. *Numerical VLF Modelling*. *Geophysical Prospecting* 27. page 815-834
- Karous, M., & Hjelt, S.E. (1983). *Linear Filtering Of VLF Dip-Angle Measurements*. *Geophysical Prospecting* 31. 782-794.
- Kusuma, Astuti Retna. (2014). *Pemodelan 2D Sungai Bawah Tanah Seropan dengan Metode VLF-EM di Kecamatan Semanu Kabupaten Gunungkidul*. Yogyakarta. FMIPA UGM.
- Kusumadinata, R. P. 1998. *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Liputan6.com, 10 Agustus 2018, Gemuruh Dahului Semburan Gas Metan dari Sumur Tua Warga Ngawi. <https://www.liputan6.com/regional/read/3610/gemuruh-dahului-semburan-gas-metan-dari-sumur-tua-warga-ngawi> (diakses 21 Desember 2020).
- Lubis, S. 2015. *Propeksi Gas Methan Biogenic Perairan Dangkal: Sumber Gas Non Konvensional*. Short Course on SM IAGI UNPAD: Jatinangor.
- Milsom, J. 1989. *Field Geophysic*, Jhon Wiley & Son, London
- McNeill, J.D. & Labson, V.F. (1991). *Geological Mapping Using VLF Radio Fields*. *Electromagnetic Methods In Applied Geophysics-Application*. 2:557.
- Nabighian, M. (1991). *Electromagnetic Methods In Applied Geophysics*. Oklahoma: Society Of Exploration Geophysics.
- Peraturan Indonesia. 2006. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Peterson, N. R. & V. Ronka. 1971. *Five Years of Survying With The Very Low Frequency - Electromagnetic Method*. *Geoexploration* 9, page 7-26

- Pratama, Bayu Satria. 2018. *Neraca Gas Bumi Indonesia*. Jakarta; Kemetrian ESDM.
- Qilun, Y. 1995. *Preliminary Study Of Unstability off East China Sea Floor*. Geological Hazard and Enviromental StudiesOf China Offhore Area 14th INQUA Congress, Berlin. Qindao Ocean University Press.
- R Juan PGN, A Syaeful Bahri, Teguh Hariyanto, dan Ira M A. (2014), “*Aplikasi Metode VLF EM Untuk Memetakan Struktur Bawah Permukaan Tanah*”, *STUDI KASUS LUSI PORONG SIDOARJO*, Vol 5, No. 1.
- Rehman, N dan Mandic, D. P. *Filter Bank Property of Multivariate Emprocal Mode Decomposition*. *IEE Transactions on Signal Processing*, VOL. 59, hal. 2421-2426
- Reitz, J.R., Milford, F.J., & Robert, R.W., 1991 *Dasar Teori Listrik Magnet*. Edisi Ketiga. Bandung: ITB.
- Romlah, Siti. 2019. *Identifikasi Sebaran Gas Biogenik Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas (Studi Kasus: Semburan Gas Di Desa Sidolaju Kecamatan Widodaren Kabupaten Ngawi)*. Malang: UIN Maliki Press
- Rice, D.D, dan Claypool, G.E. 1981. *Generation. Accumulation and Resource Potential of Biogenic Gas*. The American Association of Petroleum Geologist.
- Rice, D.D 1993. *The Future Of Energy Gases*. Washington: USG Printing Office.
- Setiawan, Tri Susanto. 2014. *Dongen Geologi*.<https://geologi.co.id/2014/11/16/semburangas-pada-sumur-air> (Di akses 15 November 2021)
- Shidiq, Ahmad Anwar. 2020. *Identifikasi Litologi Bawah Permukaan Area Semburan Gas Biogenik Menggunakan Metode Gravity (studi kasus: desa sidolaju kec. Widodaren kab. Ngawi)*. Malang: UIN Maliki Press
- Sismanto & Hartantyo. 2005. *Distributin of Leachate Polution in The Final Disposal of Piyungan, Bantul, Yogyakarta, by Using The Electromagnetic Method*. Proceedings Joint Convection Surabaya.
- Sukandarrumidi. 2013. *Geologi Minyak Dan Gas Bumi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sugiono, Agus. 2001. *Proyeksi Pemanfaatan Gas Alam Untuk Pembangkit Tenaga Listrik*. Vol. 3 hal. 120 - 125. Jakarta : Badan Pengajian dan Penerapan Teknologi.

- Sungkono, Alwi Husein, Hardi Prasetyo, Ayi S. Bahri, Fernando A. M. S., Bagus J. Santosa. 2014. *The VLF-EM Imaging Of Potential Collapse on The LUSI Embankment*. Journal of Applied Geophysic 109.
- Sungkono, Bahri, Monteiro Santos, dkk. 2014. *Fast, Simultaneous and Robust VLF-EM Data denoising and Recontruction Via Mulltivariate Emprical Mode Decomposition*. Comput. Geosci. 67, 125 - 138.
- Suyanto, Imam. 2007. *Analisis Data VLF (Very Low Frequency) untuk Mengetahui Kemenerusan Pipa Gas Bawah Permukaan di Gresik Jawa Timur*. Jurnal fisika Indonesia.
- Telford, W.M, L.P. Geldart, R.E. Sheriff, & D.A. Keys. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Wilardjo, L. (2015). *Gelombang Elektromagnetik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

LAMPIRAN I

Data Hasil Penelitian

a) Lintasan A-A'

Spasi	Inphase	Quadrature	T. Field	Tilt	Longitude	Latitude
0	25,1	0,1	57,1	7	530079,64	9181206,66
5	24,1	0,1	55,3	6	530083,83	9181212,87
10	22,5	0,1	54,4	7	530083,54	9181218,76
15	25,4	0,2	55,6	6	530085,43	9181224,81
20	22,4	0,2	54,7	21,6	530088,89	9181230,27
25	23,1	2,3	56,3	13	530090,91	9181236,73
30	21,3	2,4	57,5	10,5	530092,46	9181240,45
35	22,4	5,4	57,2	12,7	530093,57	9181243,96
40	25,3	4,2	58,3	10,8	530094,66	9181246,68
45	22,8	5,1	58,6	11,1	530095,92	9181250,6
50	24,5	5,5	57,3	13,2	530097,44	9181254,6
55	21,6	3,4	58,6	12,5	530099,29	9181258,51
60	21,6	4,9	58,9	12,5	530101,08	9181263,95
65	26,2	4,8	56,4	14,9	530103,21	9181268,62
70	28,1	4,7	55,3	16,2	530105,68	9181274,14
75	20,1	11,2	56,7	11,4	530108,64	9181282,52
80	23	2,4	57,1	12,9	530109,91	9181285,03
85	23,5	1,6	58	11,5	530111,87	9181290,01
90	29,7	2,4	59,2	12,3	530113,85	9181294,43
95	28,1	1,7	59,5	12,1	530114,97	9181297,83
100	23,4	1,5	58,2	9,4	530117,34	9181303,63
105	29,5	2,3	57,6	10,1	530119,65	9181309,69
110	27,1	3	58,3	13,1	530121,12	9181313,73
115	26,5	5,6	56,4	9,8	530123,33	9181318,75
120	26,5	4,4	55,7	9,4	530125,25	9181323,75
125	24,2	4,2	57,6	10,1	530127,14	9181328,71
130	21,1	4,1	57,8	12,4	530129,4	9181334,95
135	19,2	3,9	59,4	13,4	530131,93	9181340,43
140	20,1	5,1	59,2	11,3	530134,44	9181346,16
145	20,7	0,1	57,3	11,5	530136,43	9181351,99
150	21,2	0,4	60,2	10,3	530138,19	9181356,24
155	19,8	0,7	60,6	10,4	530140,09	9181361,22
160	17,2	1,9	61,2	10,6	530142,03	9181366,14
165	18,2	2,1	62,5	9,8	530143,77	9181370,37
170	17,7	2,5	62,4	8,2	530145,38	9181374,55
175	22,8	5,3	63,4	12,9	530147,03	9181378,88
180	24,5	4,1	64,5	13,8	530149,22	9181383,83

185	21,6	3,3	65,2	12,2	530150,77	9181387,95
190	21,6	2,9	65,6	12,2	530151,44	9181390,27
195	27,7	3,3	66,3	15,6	530153,02	9181393,47
200	39,1	6,3	67,3	21,4	530154,91	9181398,56
205	46,9	7,7	66,5	25,2	530156,03	9181401,63
210	50,3	8,8	65,8	13,2	530157,68	9181405,51
215	47,6	1,6	65,2	10,4	530158,87	9181408,8
220	48,9	0,1	65,1	0,9	530160,35	9181412,08
225	49,6	0,7	64,2	1,3	530162,24	9181416,96
230	23,4	0,1	62,4	1,6	530163,73	9181420,84
235	29,5	0,4	59,1	11	530165,45	9181424,65
240	12,1	0,4	58,9	1,4	530167,07	9181429,31
245	13,2	0,1	57,3	1,5	530169,24	9181433,96
250	14,1	0,3	58,6	1,6	530171	9181439,27
255	9,9	0,9	55,3	2,5	530172,55	9181443,21
260	8,9	0,8	56,1	2,8	530174	9181447
265	9,6	0,5	56,7	4,1	530176,55	9181452,86
270	7,6	1,4	55,7	4,5	530179,51	9181460,22
275	7,6	0,2	55,3	4,6	530181,97	9181467,3
280	8,1	0,3	56,8	0,9	530183,55	9181471
285	9	0,6	57,9	0,1	530184,82	9181473,83
290	10,1	0,5	56,3	0,5	530187,52	9181475,93
295	10,6	0,1	57,3	0,6	530191,45	9181478,88

b) Lintasan B-B'

Spasi	Inphase	Quadrature	T. Field	Tilt	Longitude	Latitude
0	25,1	4,7	60,2	9,6	530044,66	9181402,88
5	24,1	8	60,1	8,8	530050,89	9181400,98
10	22,5	11,8	61,6	7,7	530056,26	9181400,48
15	21,3	8,7	62,2	10,8	530062,69	9181399,56
20	21,9	10,1	60,8	21,6	530068,82	9181400,47
25	21,3	10,45	61,7	13	530074,65	9181399,24
30	22,4	10,77	62,4	10,5	530080,47	9181400,16
35	25,3	4,7	63,4	12,7	530085,68	9181399,24
40	27,4	8	64,2	10,8	530091,51	9181398,62
45	29,6	8,6	61,2	11,1	530097,02	9181397,69
50	28,3	8,4	60,3	13,2	530101,62	9181397,69
55	30,1	7,3	64,2	12,5	530107,14	9181396,15
60	32,6	7,3	63,2	12,5	530113,27	9181396,76
65	33,5	8,1	64,3	14,9	530118,17	9181395,53
70	36,4	6,3	65,1	16,2	530122,46	9181395,53
75	35,2	7,7	65,6	11,4	530127,37	9181396,45
80	35,4	4,7	63,5	12,9	530131,35	9181396,75

85	37,1	8	67,5	11,5	530134,11	9181395,83
90	38,8	11,8	68,5	12,3	530137,18	9181396,75
95	40,5	8,7	70,1	12,1	530140,24	9181396,13
100	50,3	7,1	71,2	15,6	530142,08	9181395,21
105	47,6	7,6	71,5	21,4	530146,99	9181393,67
110	48,9	9,4	72,3	25,2	530150,97	9181393,67
115	49,6	6,1	72,3	23,5	530155,26	9181394,89
120	50,7	7,2	70,3	24,5	530158,94	9181395,2
125	51,7	8,1	69,7	23,7	530162,62	9181394,89
130	52,7	8,6	69,1	23,3	530167,52	9181393,66
135	53,7	6,7	68,6	22,5	530172,43	9181393,35
140	24,5	6,1	68,8	22,6	530177,03	9181393,34
145	21,6	5,4	66,4	22,3	530180,71	9181392,42
150	21,6	4,1	65,7	21,7	530184,38	9181392,42
155	27,7	4,6	67,8	21,6	530188,98	9181392,72
160	26,2	5,3	64,3	21,2	530193,27	9181393,33
165	27,2	6,1	62,5	20,9	530196,65	9181393,03
170	28	6,4	62,4	20,5	530200,94	9181392,1
175	28,1	7,4	63,4	17,8	530205,53	9181392,71
180	30,7	7,1	64,5	17,5	530209,21	9181392,71
185	31,2	8,1	65,2	17,2	530212,58	9181391,48
190	31,6	8,8	65,6	16,9	530217,49	9181390,86
195	30,9	7,6	66,3	16,6	530221,78	9181391,78
200	23,4	5,7	67,3	16,3	530226,07	9181393,01
205	29,5	4,3	66,5	16	530230,98	9181392,39
210	12,1	6,7	65,8	15,7	530235,58	9181391,77
215	13,2	3,1	65,2	11,9	530239,87	9181391,46
220	14,1	4,5	65,1	9,6	530244,77	9181390,85
225	11,2	3,5	64,2	9,7	530249,06	9181391,46
230	12,6	3,1	62,4	9,1	530253,66	9181390,23
235	13,1	3,6	64,4	9,2	530258,26	9181391,15
240	13,2	2,9	63,6	8,1	530262,55	9181390,84
245	10,7	3	65,1	8,5	530268,07	9181390,53
250	11,5	2,1	64,1	7,5	530273,28	9181390,52
255	10,1	2,2	65,7	7,1	530278,8	9181389,9
260	12,6	6,1	63,4	6,3	530284,01	9181389,9
265	12,5	2,1	63,7	5,6	530288,6	9181389,28
270	13,1	2,2	62,1	4,9	530295,04	9181387,74
275	13,6	2,5	61,7	4,2	530300,87	9181388,97
280	11,5	1,1	60,1	3,5	530307,61	9181388,04
285	16,4	1,4	60,4	2,8	530312,82	9181386,81
290	17,4	1,4	62,1	2,1	530317,66	9181384,65
295	11,4	1,2	61,7	1,4	530322,22	9181382,1

c) Lintasan C-C'

Spasi	Inphase	Quadrature	T. Field	Tilt	Longitude	Latitude
0	25,1	2,1	57,4	9,1	530197,89	9181249,05
5	25,6	2,4	56,1	6,5	530195,76	9181255,35
10	26,1	2,5	56,8	7,2	530193	9181261
15	27,5	3,1	55,6	8,1	530191,43	9181269,05
20	23,4	2,1	56	11,2	530189,13	9181276
25	22,1	1,1	57,1	12,4	530187,33	9181283,09
30	29,5	1,7	58,1	10,5	530185,37	9181290,49
35	30,1	2,1	55,6	12,7	530183,5	9181299,41
40	25,3	2,2	55,2	10,8	530181,59	9181306,8
45	25,2	2,7	58,2	11,1	530179,65	9181313,99
50	26,3	2,1	57	13,2	530177,51	9181321,21
55	22,1	2,3	55,9	12,5	530175,89	9181328,01
60	22,6	3,1	56,3	12,5	530173,74	9181335,16
65	24,3	3,1	57,4	14,9	530172,09	9181341,66
70	22,9	2,6	58,9	16,2	530171,01	9181345,6
75	23,7	2,5	58,7	11,4	530169,58	9181350,11
80	24,1	3,1	59,1	12,9	530167,79	9181356,39
85	23,5	4,5	59,3	11,5	530166,77	9181361,79
90	29,7	5,6	55,3	12,3	530165,59	9181366,51
95	28,1	6,1	56,3	12,1	530164,73	9181370,57
100	23,4	6,2	59,3	9,4	530163,78	9181374,6
105	47,6	7,6	58,7	10,1	530162,32	9181377,08
110	48,9	6,7	59,6	13,1	530161,71	9181380,25
115	49,6	8,7	60,1	9,8	530161,2	9181383,61
120	38,8	7,6	61,2	9,4	530160,11	9181385,36
125	40,5	8,5	60,5	10,1	530160,45	9181387,6
130	50,3	9,1	62,3	23,7	530159,42	9181390,16
135	47,6	8,3	64,2	22,3	530159,26	9181392,19
140	48,9	9,5	64,2	25,2	530158,85	9181393,68
145	49,6	8,9	65,6	23,5	530158,48	9181395,28
150	50,7	11,2	65,2	22,3	530157,21	9181399,85
155	51,7	10,3	65,9	20,1	530156,65	9181402,84
160	52,7	10,2	64,1	19,2	530155,93	9181407,27
165	53,7	2,4	63,1	18,1	530154,32	9181410,35
170	28	3,5	63,7	17,6	530153,24	9181414,82
175	28,1	2,1	63,4	16,5	530151,98	9181418,75
180	20,3	4,4	64,5	18,5	530150,65	9181423,95
185	20,4	1,9	65,2	17,2	530149,8	9181428,69
190	29,8	2,4	63,1	17,7	530148,75	9181432,79
195	30,9	4,1	60,1	15,1	530147,47	9181436,93

200	25,4	2,1	61,3	11,5	530146,45	9181440,84
205	27,4	2,1	59,7	12,2	530145,69	9181444,61
210	19,2	2,3	60,1	17,2	530144,32	9181450
215	18,4	2,4	58,2	14,3	530143,04	9181455,56
220	19,1	1,9	57,9	12,6	530142,01	9181459,16
225	15,2	2,4	57,6	17,5	530141,01	9181463,18
230	12,4	2,2	58,2	15,2	530139,9	9181467,71
235	16,4	2,5	59,4	12	530138,55	9181472,17
240	14,7	1,8	60,3	12,5	530137,3	9181478,56
245	11,9	1,9	60,3	11,5	530135,53	9181483,26
250	20,1	1,7	61,2	14,2	530134,64	9181488,64
255	19,4	1,7	56,7	13,5	530132,87	9181493,67
260	11,3	1,9	55,2	12,1	530132,02	9181498,67
265	14,4	2,3	56,7	11,6	530130,42	9181503,4
270	15,3	2,4	57,9	10,7	530129,18	9181507,97
275	9,8	2,1	60,6	11,8	530128,63	9181510,9
280	8,9	2,1	60,1	16,5	530127,9	9181513,71
285	9,9	2,2	61,3	17,2	530126,86	9181517,22
290	10,3	1,9	58,8	16,1	530125,76	9181520,54
295	11,3	1,9	61,7	14,9	530124,8	9181525,23

LAMPIRAN II

Gambar Pengambilan Data





**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN FISIKA**

Gedung B.J. Habibie Lt. 2 Fak. Saintek Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. (0341) 558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Andika Dwi Pradityo
NIM : 16640037
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika
Judul Skripsi : Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Area Semburan Gas Biogenik Menggunakan Metode *Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM)* Di Desa Sidolaju Kecamatan Widodaren Kabupaten Ngawi
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No.	Hari/Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	12 Januari 2021	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	23 Februari 2021	ACC BAB I, II, III	
3	23 April 2021	Konsultasi Data Hasil Akuisisi	
4	23 Mei 2020	Konsultasi BAB IV	
5	23 Oktober 2020	Konsultasi Kajian Agama	
6	17 Oktober 2021	Kosultasi BAB IV dan ACC	
7	01 November 2021	Kosultasi Revisi BAB IV, dan V	
8	11 Desember 2021	Konsultasi Kajian Agama	
9	24 Desember 2021	Konsultasi Semua BAB dan ACC	

Malang, 24 Desember 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Iman Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002