



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF 184838

APLIKASI FILTER *NA-MEMD* PADA DATA VLF-EM UNTUK MENGIDENTIFIKASI KEMENERUSAN SUNGAI BAWAH PERMUKAAN (STUDI KASUS DESA SEKAR, PACITAN)

MEGAWATI SUNARNO PUTRI
NRP. 0341164000022

Dosen Pembimbing
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T
NIP. 19890612 201504 1 003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF 184838

**APLIKASI FILTER *NA-MEMD* PADA DATA VLF-EM UNTUK
MENGIDENTIFIKASI KEMENERUSAN SUNGAI BAWAH PERMUKAAN
(STUDI KASUS DESA SEKAR, PACITAN)**

MEGAWATI SUNARNO PUTRI
NRP. 0341164000022

Dosen Pembimbing
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T
NIP. 19890612 201504 1 003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

UNDERGRADUATE THESIS - RF 184838

***APPLICATION OF NA-MEMD FILTER IN VLF-EM DATA TO IDENTIFY
UNDERGROUND RIVER CONTINUITY (STUDY CASE DESA SEKAR,
PACITAN)***

MEGAWATI SUNARNO PUTRI
NRP. 0341164000022

Advisors

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T
NIP. 19890612 201504 1 003

***GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020***

Halaman ini sengaja dikosongkan


PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “APLIKASI FILTER NA-MEMD PADA DATA VLF-EM UNTUK MENGIDENTIFIKASI KEMENERUSAN SUNGAI BAWAH PERMUKAAN (STUDI KASUS DESA SEKAR, PACITAN)” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 30 Juli 2020



Megawati Sunarno Putri
03411640000022

Halaman ini sengaja dikosongkan



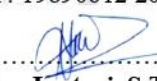
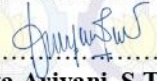
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Megawati Sunarno Putri
NRP : 0341 16 40000 022
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Aplikasi Filter *NA-MEMD* pada Data VLF-EM untuk Mengidentifikasi Kemenerusan Sungai Bawah Permukaan (Studi Kasus Desa Sekar, Pacitan)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2020

1. 
Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T (Pembimbing 1)
NIP. 19690906 199702 1 001
2. 
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T (Pembimbing 2)
NIP. 19890612 201504 1 003
3. 
Wien Lestari, S.T., M.T (Penguji 1)
NIP. 19811002 201212 2 003
4. 
Nita Ariyani, S.T., M. Eng (Penguji 2)
NIP. 370181001

Menyetujui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

Aplikasi Filter *NA-MEMD* pada Data VLF-EM untuk Mengidentifikasi Kemenerusan Sungai Bawah Permukaan (Studi Kasus Desa Sekar, Pacitan)

Nama Mahasiswa : Megawati Sunarno Putri
NRP : 0341164000022
Departemen : Teknik Geofisika ITS
Dosen Pembimbing I : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
Dosen Pembimbing II : Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T

ABSTRAK

Kawasan karst Desa Sekar, Pacitan memiliki gua-gua yang terhubung akibat adanya sistem rekahan yang berkembang. Terbentuknya sistem rekahan ini dikarenakan adanya proses pelarutan yang tinggi pada lapisan batuan sehingga terbentuk rekahan gua, seperti Luweng Kuniran, Luweng Musuk dan Luweng Dawung. Rekahan gua yang dialiri air kemudian terakumulasi dan membentuk sungai bawah permukaan. Kompleksitas daerah karst membutuhkan metode geofisika khusus untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan, seperti metode VLF-EM. Metode ini termasuk metode yang ramah lingkungan dengan mobilitas alat yang mudah serta penetrasi kedalaman yang relatif dalam. Filter *NA-MEMD* berguna dalam data VLF-EM ini, karena dapat mereduksi *noise* yang terkandung dengan cara memisahkan dan merekonstruksi ulang data secara simultan. Pengambilan data terdiri dari 3 lintasan pengukuran dengan panjang lintasan masing-masing 350 m, 900 m, dan 550 m serta jarak antar titik 10 m. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran berupa *tilt* dan *elliptisitas*. Sungai bawah permukaan dapat diidentifikasi melalui interpretasi kualitatif (filter Fraser dan filter Karous-HJelt). Kemenerusan sungai bawah permukaan teridentifikasi pada tiap lintasan pengukuran dan berkorelasi dengan manifestasi yang ada. Arah kemenerusan sungai bawah permukaan ini berada pada azimuth N45°E- N65°E.

Kata Kunci: karst, *NA-MEMD*, sungai bawah permukaan, VLF-EM

Halaman ini sengaja dikosongkan

Application of NA-MEMD Filter in VLF-EM Data to Identify Underground River Continuity (Study Case Sekar Village, Pacitan)

Student Name : Megawati Sunarno Putri
Student ID : 03411640000022
Department : Geophysical Engineering
Advisor I : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
Advisor II : Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T

ABSTRACT

The karst area of Sekar Village, Pacitan has connected caves due to a developing fracture system. The formation of this fracture system is due to the high dissolution process in the rock layers so that the cave fractures are formed, such as Luweng Kuniran, Luweng Musuk and Luweng Dawung. The fracture of the cave which was drained by water then accumulated and formed an underground rivers. The complexity of karst areas requires a special geophysical method to identify underground rivers, the VLF-EM method. This method includes an environmentally friendly method with easy tool mobility and relatively deep penetration depth. NA-MEMD filter is useful in this VLF-EM data, because it can reduce the noise contained by separating and reconstructing data simultaneously. The data collection consisted of 3 measurement lines with a length of 350 m, 900 m and 550 m each, and a distance between points of 10 m. The data obtained from the measurement results are in the form of tilt and ellipticity. Underground rivers can be identified through qualitative interpretations (Fraser filters and Karous-HJelt filters). The continuity of underground rivers is identified at each measurement path and correlates with existing manifestations. The direction of underground river continuity is in the azimuth N45°E-N65°E.

Keyword: karst, NA-MEMD, underground river, VLF-EM

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Aplikasi Filter NA-MEMD pada Data VLF-EM untuk Mengidentifikasi Kemenerusan Sungai Bawah Permukaan (Studi Kasus Desa Sekar, Pacitan)**” sebagai persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Geofisika ITS.

Penulis menyadari bahwa banyak hambatan yang menimbulkan kesulitan dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Namun, berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya kesulitan yang timbul dapat teratasi. Maka pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terima kasih kepada:

1. Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2016-2020.
2. Yayasan Manarul Ilmi ITS yang telah memberikan dukungan finansial pada tahun 2019.
3. Bapak Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T selaku pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktu dalam mendidik, memberi bimbingan, wawasan, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian serta Tugas Akhir ini.
4. Bapak Juan Pandu G. N. R., S.Si., M.T, selaku pembimbing kedua yang telah banyak meluangkan waktu dalam mendidik, memberi bimbingan, dan wawasan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Wien Lestari, S.T., M.T dan Nita Ariyanti selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir ini.
6. Keluarga tercinta, Ayahanda Sunarno, Ibunda Suminem, Kakak pertama Fatmawati Sunarno Putri, Kakak kedua Welianto Sunarno Putra, Suami dari Kakak pertama Imam Wawanudin, dan Istri dari Kakak kedua Nina Astutik.
7. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si selaku Kepala Departemen Teknik Geofisika ITS Surabaya yang telah memberi kemudahan sarana selama kuliah sampai selesainya Tugas Akhir ini.
8. Bapak M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T selaku dosen wali yang telah memberikan saran dan dukungan yang berhubungan dengan mata kuliah selama masa belajar Penulis.
9. Seluruh staf dosen, staf tata usaha dan karyawan Departemen Teknik Geofisika ITS Surabaya yang telah memberikan berbagai ilmu selama masa belajar Penulis

10. Tim Pacitan: Yusril, Mia, Diki, Wafi, Kevin, Cahya, Nawang, Bagus, Mbak Vibry, dan Mbak Silmi atas bantuan dan diskusi selama penelitian di lapangan maupun selama penyusunan laporan.
11. Teman dari perguruan tinggi negeri lain yang telah berbagi waktu atas bantuan dan diskusi selama penyusunan laporan.
12. Rekan-rekan TG 05 atas kebersamaan dan tempat berbagi keluh kesah selama masa belajar Penulis.
13. Rekan-rekan curahan hati dan berbagi keluh kesah, yaitu: Aisya Nur Hafiyya, Siti Imania Luhri, Shofi Iqtina Hawan, Syarfa Monita Wahjudi, Sumita Kelista Nurfi Astani, Kezia Marannu Biring, dan Yolanda Mustika Bohal yang telah memberi dukungan terbaik dan mengisi keseharian penulis dengan keceriaan serta kerjasama selama masa belajar Penulis.
14. Segenap teman-teman Teknik Geofisika 2017 yang telah memberikan dukungan terbaik dan mengisi keseharian penulis selama masa belajar Penulis.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Sehingga penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alaamiin.

Surabaya, 27 Juli 2020
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Target Luaran.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Dasar Teori	3
2.1.1 Geologi Regional	3
2.1.2 Metode <i>Very-Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM)	10
2.2 Penelitian Terdahulu.....	18
2.2.1 Penelitian di Desa Sekar, Pacitan	18
2.2.2 Aplikasi <i>Filter NA-MEMD</i> pada Data VLF-EM	19
2.2.3 Pengaruh Filter Moving Average dan Filter <i>NA-MEMD</i> pada Data VLF-EM	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Lokasi Penelitian.....	23
3.2 Peralatan Penelitian	23
3.3 Diagram Alir Penelitian	23
3.3.1 Tahap Pendahuluan	24
3.3.2 Akuisisi.....	25
3.3.3 Pengolahan Data.....	25
3.3.4 Interpretasi	25
3.4 Desain Akuisisi	25
BAB IV HASIL	27
4.1 Data Hasil Akuisisi.....	27
4.2 Analisis Filter.....	28
4.2.1 Koreksi Topografi	28

4.2.2	Filter NA-MEMD.....	30
4.2.3	Filter Moving Average.....	32
4.3	Analisis Hasil	33
4.4	Identifikasi Sungai Bawah Permukaan	36
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....		43
LAMPIRAN.....		47
DAFTAR LUARAN.....		55
BIOGRAFI PENULIS		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembagian Fisiografi Regional Jawa Bagian Tengah dan Timur (Bemmelen, 1949 dengan modifikasi).....	3
Gambar 2. 2 Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra, H.; Gafoer, 1992; Surono; Toha, 1992 yang telah termodifikasi).....	4
Gambar 2. 3 Stratigrafi barat Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Surono; Toha, 1992 dengan perubahan).....	5
Gambar 2. 4 Skema Proses Pelarutan Batugamping (Trudgil, 1985 dalam Haryono, E; Adji, 2017)	8
Gambar 2. 5 Teori Terbentuknya Gua dan Sungai Bawah Permukaan pada Kawasan Karst (a) Teori Vadus, (b) Teori Freatik Dalam (c) Teori Freatik Dangkal (White, 1988 dalam Handayani, 2009)	9
Gambar 2. 6 Prinsip Kerja dan Distribusi Medan Elektromagnetik untuk Metode VLF-EM (Bosch dan Müller, 2001).....	12
Gambar 2. 7 Hubungan antara Derajat Kemiringan terhadap Pengaruh Topografi.....	13
Gambar 2. 8 Contoh Hasil Pengolahan Filter <i>NA-MEMD</i> pada data <i>In-phase</i> (kiri) dan <i>Quadrature</i> (kanan) berdasarkan IMFs (Sungkono dkk., 2016)	14
Gambar 2. 9 Contoh Hasil Pengolahan Filter <i>Moving Average</i> pada 2 Data VLF-EM (Yusmita, 2018).....	16
Gambar 2. 10 Contoh Hasil Pengolahan Filter <i>Fraser</i> berupa Grafik <i>Fraser Derivative</i> (Indriyani, 2014)	17
Gambar 2. 11 Contoh Hasil Pengolahan Filter Karous-HJelt berupa Penampang 2D RAE (Indriyani, 2014)	18
Gambar 2. 12 Hasil Penampang RAE (Amrin dkk., 2018)	19
Gambar 2. 13 (a) Penampang RAE terfilter <i>NA-MEMD</i> , (b) Penampang Resistivitas terfilter <i>NA-MEMD</i> (Sungkono dkk., 2016).....	20
Gambar 2. 14 Hasil Pengolahan Data Tilt (a) dengan Filter <i>Moving Average</i> (b) dengan Filter <i>NA-MEMD</i> (Yusmita, 2018).....	21
Gambar 2. 15 Penampang Kontur Rapat Arus (a) dengan Filter <i>Moving Average</i> dan (b) Filter <i>NA-MEMD</i> (Yusmita, 2018).....	22
Gambar 3. 1 Alat Penelitian	23
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3. 3 Peta Desain Akuisisi Pengukuran VLF-EM	26
Gambar 4. 1 Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 1.....	29
Gambar 4. 2 Hasil Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 1.....	30
Gambar 4. 3 Hasil Dekomposisi menggunakan <i>NA-MEMD</i> untuk data a) Tilt dan b) Elliptisitas pada Lintasan 1	31
Gambar 4. 4 Hasil Filter <i>NA-MEMD</i> pada Data VLF-EM Lintasan 1	32

Gambar 4. 5 Hasil Filter <i>Moving Average</i> pada Data VLF-EM Lintasan 1	33
Gambar 4. 6 Hasil Filter Fraser pada Data VLF-EM Lintasan 1 Setelah Terfilter NA-MEMD dan <i>Moving Average</i>	34
Gambar 4. 7 Hasil Filter Karous-HJelt pada Data VLF-EM Lintasan 1 Setelah Terfilter (a) NA-MEMD dan (b) <i>Moving Average</i>	36
Gambar 4. 8 Hasil Filter Fraser pada Data VLF-EM (a) Lintasan 2, (b) Lintasan 3 dan Filter Karous-HJelt pada Data VLF-EM (c) Lintasan 2 dan (d) Lintasan 3 Setelah Terfilter NA-MEMD	37
Gambar 4. 9 Hasil Penampang Resistivitas dan Gambaran Litologi Daerah Sekitar Penelitian.....	39
Gambar 4. 10 Peta Dugaan Kemenerusan Sungai Bawah Permukaan antara Luweng Dawung dan Luweng Musuk.....	39
Gambar 4. 11 Peta Dugaan Kemenerusan Sungai Bawah Permukaan berdasarkan <i>Particle Motion</i> (Setiawan, 2020)	40
Gambar 1 Koreksi Topografi pada Lintasan 2	47
Gambar 2 Hasil Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 2	47
Gambar 3 Hasil Dekomposisi menggunakan NA-MEMD untuk data a) Tilt dan b) Elliptisitas pada Lintasan 2	48
Gambar 4 Hasil Filter NA-MEMD pada Data VLF-EM Lintasan 2	48
Gambar 5 Hasil Filter <i>Moving Average</i> pada Data VLF-EM Lintasan 2.....	49
Gambar 6 Koreksi Topografi pada Lintasan 3	50
Gambar 7 Hasil Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 3	50
Gambar 8 Hasil Dekomposisi menggunakan NA-MEMD untuk data a) Tilt dan b) Elliptisitas pada Lintasan 3	51
Gambar 9 Hasil Filter NA-MEMD pada Data VLF-EM Lintasan 3	51
Gambar 10 Hasil Filter <i>Moving Average</i> pada Data VLF-EM Lintasan 3.....	52
Gambar 11 Resultan <i>Pacticle Motion</i> di Daerah Penelitian (Setiawan, 2020)	53
Gambar 14 Luweng Dawung Tampak Dari Atas	54
Gambar 15 Luweng Musuk Tampak dari Samping.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Lintasan Pengukuran.....	26
Tabel 4. 1 Data Lapangan Metode VLF-EM Lintasan 1.....	27

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kawasan karst memiliki kondisi hidrologi yang khas dan tingkat pelarutan batuan yang tinggi, sehingga terbentuk rekahan yang berkembang dengan baik. Kawasan tersebut dicirikan dengan adanya gua-gua, cekungan-cekungan tertutup dan masuknya sungai permukaan ke dalam tanah (Ford dan Williams, 2007). Keberadaan gua-gua di kawasan karst ini diduga saling terhubung dan berkembang sehingga membentuk sistem sungai bawah permukaan (Abd dan Aal, 2017). Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan merupakan salah satu kawasan karst yang memiliki gua-gua atau luweng-luweng dan diduga berkembang membentuk sungai bawah permukaan. Beberapa luweng yang ada di daerah ini seperti, Luweng Kuniran (Amrin dkk., 2018), Luweng Musuk, dan Luweng Dawung.

Kompleksitas daerah karst memerlukan metode geofisika khusus untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan. Salah satunya metode *Very-Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM). Metode ini bisa digunakan disegala medan terutama morfologi karst yang berbukit-bukit, ramah lingkungan, mobilitas alat yang mudah (Purwanto dkk., 2015), serta penetrasi kedalaman yang dapat dicapai sekitar 50 meter, relatif lebih dalam jika dibandingkan dengan metode akuisisi lainnya (Shofyan dkk., 2016). Metode VLF-EM ini biasa dimanfaatkan untuk mengetahui struktur bawah permukaan seperti pencarian candi yang terpendam (Maulidina, 2015). Pemanfaatan lainnya digunakan untuk eksplorasi benda-benda konduktif seperti pola aliran sungai bawah permukaan daerah karst (Indriyani, 2014) yang memanfaatkan kontras konduktivitas batuan dilihat dari nilai rapat arus ekuivalen. Konduktivitas merupakan kebalikan dari resistivitas, semakin besar resistivitas suatu benda maka semakin besar medan listrik yang dibutuhkan untuk menimbulkan kerapatan arus. Desa Sekar memiliki perkembangan luweng menjadi sungai bawah permukaan yang dibuktikan dengan adanya kemenerusan aliran di sekitar Luweng Kuniran menggunakan metode VLF-EM (Amrin dkk., 2018).

Data VLF-EM merupakan data *bivariate* atau kompleks. Pada data ini mengandung *noise* yang berasal dari geologi (Everett dan Weiss, 2002) akibat dari kondisi lapangan, sehingga menyebabkan kesalahan dalam hasil interpretasi (Sungkono dkk., 2016). Filter *NA-MEMD* berguna untuk meningkatkan hasil penguraian data *univariate* dan *bivariate* yang mengandung sinyal intermiten (Sungkono dkk., 2016). Penggunaan filter *NA-MEMD* ini cocok digunakan untuk mereduksi *noise* yang ada dalam data VLF-EM (Yusmita, 2018) dengan daerah pengukuran morfologi karst. Pada penelitian ini metode VLF-EM dengan filter

NA-MEMD digunakan untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan studi kasus Desa Sekar, Pacitan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh filter *NA-MEMD* terhadap data VLF-EM?
2. Bagaimana mengidentifikasi sungai bawah permukaan dengan menggunakan metode VLF-EM berdasarkan perbedaan harga rapat arus ekuivalen?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Data VLF-EM yang diambil pada bulan Agustus 2019
- b. Daerah pengukuran diantara Luweng Dawung dan Luweng Musuk
- c. Data pengukuran yang diolah berupa tilt dan elliptisitas

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh filter *NA-MEMD* terhadap data VLF-EM
2. Mengidentifikasi sungai bawah permukaan dengan menggunakan metode VLF-EM berdasarkan perbedaan harga rapat arus ekuivalen

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai studi referensi dalam penggunaan filter yang tepat pada metode VLF-EM di kawasan karst. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan informasi keberadaan sungai bawah permukaan dalam rangka pengembangan kawasan karst Pacitan secara berkelanjutan.

1.6 Target Luaran

Penelitian ini memiliki target luaran berupa paper dan jurnal mengenai pemetaan kemenerusan sungai bawah permukaan pada kawasan karst Pacitan menggunakan integrasi metode VLF-EM, resistivitas dan mikrotremor. Sekaligus diharapkan sebagai pengembangan kawasan karst Pacitan secara berkelanjutan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

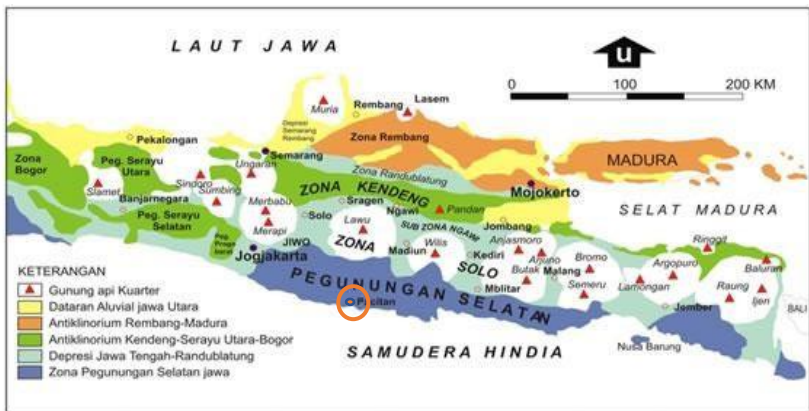
2.1 Dasar Teori

2.1.1 Geologi Regional

Pacitan memiliki kondisi geologi regional yang meliputi sebagai berikut:

2.1.1.1 Fisiografi Regional

Fisiografi Jawa Timur secara umum dibagi menjadi 4 (empat) zona jalur, yaitu Zona Rembang di bagian Utara, di bagian selatannya ada Zona Kendeng, Zona Solo dan Zona Pegunungan Selatan yang terletak di bagian paling selatan.



Gambar 2. 1 Pembagian Fisiografi Regional Jawa Bagian Tengah dan Timur (Bemmelen, 1949 dengan modifikasi)

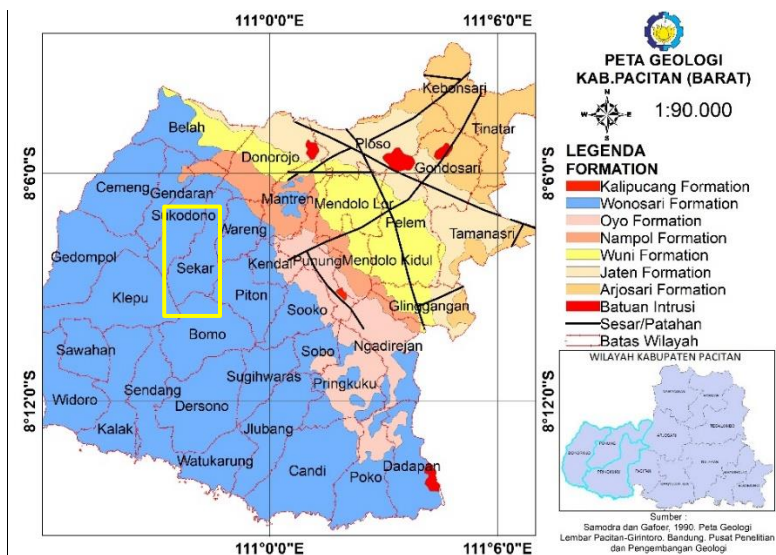
Gambar 2.1 telah menunjukkan lokasi penelitian yang ditandai dengan lingkaran oranye dimana lokasi penelitian merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan di Jawa Timur ini merupakan hasil pelipatan pada Miosen dan berlanjut kearah timur yaitu Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur serta blok yang terangkat dan miring ke arah selatan. Daerah Zona Pegunungan Selatan membujur dari Yogyakarta ke arah timur, Wonosari, Wonogiri, Pacitan menerus ke daerah Malang Selatan, terus ke daerah Blambangan. Zona ini dibatasi oleh Zona Depresi Sentral Jawa dan Zona Randublatang di sebelah utara, Zona Pegunungan Serayu Selatan di sebelah barat, Selat Bali di sebelah timur, dan Samudera Hindia di sebelah selatan. Daerah Zona Pegunungan Selatan merupakan daerah dengan perbukitan berelif

sedang-terjal pada bagian utara, dataran tinggi karst di bagian tengah, dan perbukitan kerucut karst di bagian selatan atau disebut Gunung Sewu (Bemmelen, 1949).

Kawasan karst Gunung Sewu dihasilkan oleh pengangkatan yang dimulai pada Pleiosen Akhir. Bagian utara kawasan karst Gunung Sewu dibatasi oleh cekungan Wonosari dan Baturetno yang tersusun atas material gamping, namun memiliki tingkat karstifikasi yang tidak intensif. Kedua cekungan ini memisahkan kawasan Karst Gunung Sewu dengan pegunungan berbatuan sedimen vulkano klastik yang lebih dikenal dengan Pegunungan Baturagung. Kawasan karst Gunung Sewu terdiri dari batu gamping berumur miosen tengah. Perkembangan topografi karst dengan kenampakan permukaan berupa dolina-dolina yang dipisahkan oleh bukit-bukit yang terlihat membulat yang disebut kubah kapur dan sungai bawah permukaan (Haryono, E; Adji, 2017).

2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Daerah penelitian termasuk kedalam sebagian Peta Geologi Regional Lembar Pacitan (Samodra, H.; Gafoer, 1992) dan Lembar Surakarta-Giritronto (Suroño; Toha, 1992).



Gambar 2. 2 Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra, H.; Gafoer, 1992; Suroño; Toha, 1992 yang telah termodifikasi)

Gambar 2.2 menunjukkan peta geologi daerah penelitian yang berada di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan (ditunjukkan oleh kotak kuning). Daerah penelitian termasuk dalam pegunungan selatan di Jawa Timur. Batuan yang menjadi dasar pada pegunungan selatan adalah batuan metamorf yang berumur Kapur-Paleosen Awal. Susunan litostatigrafi pegunungan selatan (dari tua ke muda) yaitu kelompok Formasi Wungkul Gamping, Formasi Kebo Butak, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran, Formasi Sambipitu, Formasi Oyo, Formasi Wonosari dan Formasi Kepek (Surono; Toha, 1992).

KALA	ZONASI BLOW (1969)	PENELITI			
		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	SUMARSO-ISMOYOWATI (1973)	SURONO, dkk. (1992)
HOLOSEN PLISTOSEN	N. 23			Endapan Vulkanik Muda dan Aluvium	
	N. 22				
	N. 21				
PLIOSEN	N. 20				
	N. 19				
	N. 18				
MIOSEN	N. 17				
	N. 16				
	N. 15	Kepek	Wonosari	Wonosari	Kepek
	N. 14				Wonosari
	N. 13	Wonosari	Sambipitu Nglanggran Semilir	Wonosari	Kepek
	N. 12				Oyo
	N. 11				Oyo
	N. 10	Sambipitu Nglanggran	Kebo Butak	Semilir	Oyo
	N. 9				Sambipitu
	N. 8				Sambipitu
N. 7	Sambipitu				
N. 6	Nglanggran	Semilir	Semilir	Nglanggran	
N. 5				Semilir	
N. 4					
OLIGOSEN	N. 3 (P.22)	Semilir		Kebo Butak	Kebo Butak
	N. 2 (P.21)	Kebo Butak			
	N. 1 (P.20)				
	P. 19				
Eosen	P. 18				
	P. 16				
	P. 15	Wungkal Gamping		Gamping	
	P. 14				
	P. 13			Wungkal	Wungkal Gamping

Gambar 2.3 Stratigrafi barat Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Surono; Toha, 1992 dengan perubahan)

Gambar 2.3 menunjukkan Stratigrafi barat dan timur zona Pegunungan Selatan. Kotak merah menunjukkan formasi pada lokasi penelitian yang berada di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Pacitan yang masuk dalam Formasi Wonosari (Tmwl). Formasi Wonosari tersusun atas batugamping terumbu, batugamping berlapis, batugamping mengeping, batugamping pasiran, dan napal. Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menyebar dengan Formasi Oyo. Batugamping

pada Formasi Wonosari ditemukan fosil foraminifera besar berupa *Miogysina sp.* dan *Lapidocyclina sp.* Berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan terbentuk di lingkungan laut (Samodra, H.; Gafoer, 1992).

2.1.1.3 Struktur Geologi Daerah Regional

Daerah penelitian merupakan merupakan Zona Pegunungan Selatan yang telah mengalami empat kali pengangkatan. Terdapat pola struktur berupa sesar geser dengan arah barat laut-tenggara, yaitu Sesar Punung (sesar geser dekstral) dan arah timur laut-barat daya, yaitu Sesar Grindulu (sesar geser sinistral). Pola struktur ini terjadi akibat penunjaman lempeng Indo-Australia selama Eosen hingga Miosen Tengah. Berdasarkan pendugaan sementara, dua sesar ini merupakan bagian penting sebagai indikasi tegasan pengontrol pada sungai bawah permukaan yang berada di daerah ini (Bemmelen, 1949). Hasil pembentukan struktur geologi yang ada di daerah ini berupa sesar normal dan sesar mendatar, seperti terlihat pada Gambar 2.2. Sesar-sesar ini terbentuk sebagai hasil deformasi tektonik setelah semua satuan batuan pada daerah penelitian terendapkan. Sesar yang teraktifkan kembali ini adalah Sesar Ngadirejan (sesar mendatar yang berarah timur laut–barat daya) dan Sesar Barong (sesar mendatar yang berarah barat laut-tenggara) (Aliyan, 2018).

2.1.1.4 Sejarah Geologi

Daerah penelitian merupakan daerah cekungan pengendapan Pegunungan Selatan yang mengalami pengangkatan dan berubah menjadi dangkalan pada akhir Miosen Awal atau permulaan Miosen Tengah. Selanjutnya terjadi perubahan muka laut, dimana hal itu menyebabkan terjadinya proses genang laut, yang diikuti dengan pengendapan batuan Formasi Oyo. Kegiatan tektonik gunung api di daratan mempengaruhi sedimentasi (karbonat) yang sedang terjadi di lingkungan laut dangkal. Beragam jenis klastika asal daratan dan tuf masuk ke dalam cekungan, menghasilkan Formasi Oyo yang bersifat klastik. Di dasar paparan yang berbatasan dengan daratan yang mulai stabil terbentuk terumbu-terumbu koral Formasi Wonosari (Samodra, 2003).

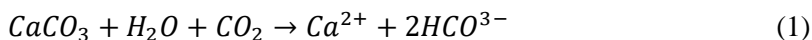
Pada permulaan Miosen Akhir keadaan tektonik yang stabil berhasil menciptakan kondisi yang sangat memungkinkan bagi pertumbuhan dan perkembangan batugamping terumbu paparan Formasi Wonosari. Kegiatan tektonik yang aktif pada Miosen Akhir menghasilkan sesar-sesar turun sehingga kawasan menciptakan bentukan sembulan (*horst*) dan amblesan (*graben*). Daerah tinggian kemudian mengalami pengikisan, dan batuan rombakan yang dihasilkan diendapkan pada cekungan yang semakin dangkal. Kemudian terbentuk Formasi Kepek berumur Miosen Akhir-Pliosen Awal. Pada Pliosen cekungan terangkat ke permukaan laut, dibuktikan dengan tidak ada endapan yang berlingkungan laut. Pada saat seluruh kawasan Gunung Sewu terangkat di

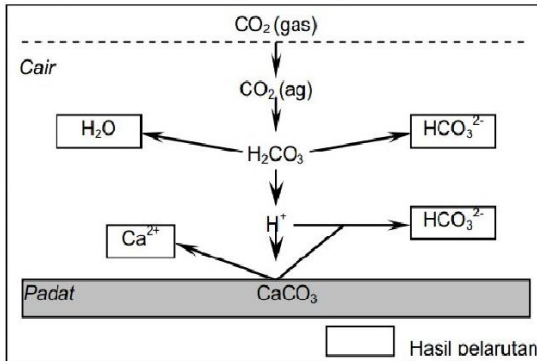
permukaan laut, gejala karstifikasi pun dimulai. Kekar dan sesar yang menyertai proses pengangkatan di Gunung Sewu merupakan bidang-bidang lemah yang mudah sekali mengalami pengikisan dan pelarutan. Air permukaan yang mengalir di sepanjang struktur geologi tersebut akan mengubah lembah sungai menjadi lebih dalam dan lebar. Beberapa mulut gua berukuran kecil yang tersingkap bersebelahan di beberapa bagian lereng lembah dan mempunyai ketinggian yang hampir sama, menunjukkan adanya gejala pemotongan sistem lorong bawah tanah oleh sesar. Lorong-lorong gua yang pernah aktif sebelum terjadi pengangkatan mempunyai arah hampir barat-timur (Samodra, 2003).

2.1.1.5 Karst

Kata karst berasal dari Bahasa Slavia, yaitu “Krs atau Kras” yang memiliki arti wilayah yang daerahnya gersang berbatuan. Karst merupakan bentang alam yang memiliki keadaan hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan memiliki porositas sekunder yang berkembang baik. Karst tidak hanya terjadi di daerah berbatuan karbonat, tetapi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif) seperti gipsum dan batugaram. Namun demikian, karena batuan karbonat mempunyai sebaran paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat (Moore and Sullivan, 1978 dalam Adji dkk., 1999).

Proses pembentukan daerah karst yang didominasi oleh proses pelarutan disebut karstifikasi. Alur proses pelarutan diawali oleh larutnya CO_2 di dalam air membentuk H_2CO_3 . Kemudian larutan H_2CO_3 tidak memiliki kestabilan yang dapat terurai menjadi H^+ dan HCO_3^{2-} . Adanya ion H^+ dapat berperan dalam menguraikan $CaCO_3$ menjadi Ca^{2+} dan HCO_3^{2-} , sehingga proses pelarutan dapat dirumuskan sebagai berikut (Trudgil, 1985 dalam Haryono, E; Adji, 2017):





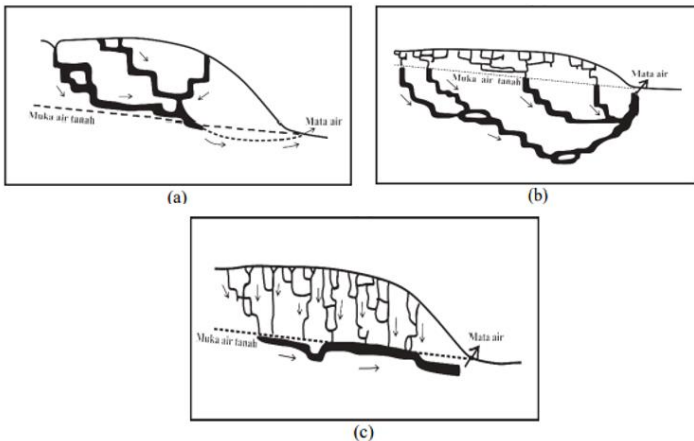
Gambar 2. 4 Skema Proses Pelarutan Batugamping (Trudgil, 1985 dalam Haryono, E; Adji, 2017)

Ada dua faktor yang dapat mempengaruhi proses karstifikasi, yaitu berupa faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol akan berpengaruh terhadap penentuan proses berlangsungnya karstifikasi. Faktor inipun dipengaruhi oleh beberapa hal seperti, batuan mudah larut, curah hujan, ketebalan, rekahan, dan faktor ketinggian batuan yang memungkinkan adanya perimbangan sirkulasi air secara vertikal. Adapun faktor pendorong dapat menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi, sehingga temperatur dan penutupan hutan sangat mempengaruhi faktor tersebut. Ciri utama karst dapat diketahui melalui proses karstifikasi, yaitu terdapat sejumlah cekungan tertutup (*doline*) atau lembah kering dengan ukuran bervariasi. Jika *doline* terisi air akan membentuk danau *doline*, dan akan terbentuk uvala apabila *doline* saling menyatu (Ford dan Wiliiam, 1996 dalam Adji dkk., 1999). Sedangkan ciri lainnya, yaitu dengan adanya fenomena sungai bawah permukaan yang dapat diketahui dari adanya gua kapur pada permukaan sehingga sungai permukaan menjadi langka (Trudgil, 1985 dalam Haryono, E; Adji, 2017).

2.1.1.6 Sungai Bawah Permukaan

Daerah yang berupa kawasan karst biasanya ditemukan sebuah gua dan sungai bawah permukaan. Hal ini, karena karst memiliki ciri khas batuan yang memiliki banyak rongga serta mudah larut dengan air sehingga mengakibatkan berkembangnya sistem sungai bawah permukaan yang lebih dominan daripada sistem sungai permukaan (Ford dan Williams, 2007). Air yang terdapat di batuan gamping bersifat dinamis, karena air tersebut bergerak dari permukaan sampai ke zona jenuh air. Pergerakan ini, berdasarkan dari jalur yang dilalui air berpotensi terjadinya pelarutan batumannya sehingga dalam jangka waktu tertentu

terbentuklah lubang yang diameternya cukup besar. Maka terbentuklah sistem sungai bawah tanah di daerah karst (Adji dan Suyono , 2004 dalam Wijayanti, 2017).



Gambar 2. 5 Teori Terbentuknya Gua dan Sungai Bawah Permukaan pada Kawasan Karst (a) Teori Vadus, (b) Teori Freatik Dalam (c) Teori Freatik Dangkal (White, 1988 dalam Handayani, 2009)

Gambar 2.5 mengilustrasikan proses terbentuknya gua dan sungai bawah pada kawasan karst. Gua-gua yang berada dikawasan karst terbentuk oleh proses pelarutan air yang bersifat asam terhadap batu karbonat. Sisa-sisa dari pelarutan batuan karbonat inilah yang membentuk gua yang berupa rongga-rongga. Teori pembentukan gua tidak selalu sama tergantung pada geologi daerah tersebut. Terdapat 3 teori pembentukkan sebuah gua dan sungai bawah tanah pada kawasan oleh karst, yaitu sebagai berikut:

a. Teori Vadus (*Vadose Theory*)

Teori ini menjelaskan bahwa gua-gua terbentuk oleh adanya arus bawah tanah yang mengalir, baik pada atau di atas permukaan air tanah (*water table*). Kemudian menginfiltrasi secara vertikal kedalam tanah melalui luweng-luweng dianggap sangat agresif. Agresivitas ini hilang saat air tersebut memasuki zona saturasi (zona jenuh air). Setelah air mencapai zona saturasi maka pergerakannya mulai kearah horizontal dengan cara mengikuti celah-celah yang sudah ada, seperti bidang perlapisan, kekar, retakan, dan sebagainya. Selama bergerak, air mengerosi dan melarutkan bagian demi bagian batugamping yang dilaluinya. Hal ini mengakibatkan celah-celah tersebut perlahan-lahan semakin lebar hingga akhirnya membentuk saluran-saluran atau terowongan-terowongan (Kusumayudha, 2005 dalam Handayani, 2009).

b. Teori Freatik Dalam (*Deep Phreatic Theory*)

Tahapan pertama merupakan tahap pelarutan, terjadinya proses pelarutan dari persebaran air pada bawah permukaan yang terletak di daerah zona freatik dimasa lampau dan dalam stadium tua pada daur geomorfologi. Kemudian tahapan kedua merupakan tahap pengisian, dimana terbentuknya gua atau lorong dengan yang sudah terisi air (stagnan). Sehingga terjadi pengendapan material berupa lempung yang berasal dari material yang terbawa oleh air saat terjadi proses pelarutan secara serentak. Tahapan ketiga merupakan tahap pengeringan, yaitu terjadinya proses pengangkatan lapisan tanah sehingga terjadinya pergeseran zona. Pergeseran zona ini, mengalami perubahan zonasi vertikal yaitu zona vadus yang mengalami perluasan wilayah dengan bergeser ke bawah sehingga terjadi pengeringan gua. Sebagian material halus yang semula mengisi gua akan terbawa oleh air yang kembali bergerak dengan mengikuti aliran di zona vadus hingga arus tersebut mencapai alas batuan (Davis, 1980 dalam Handayani, 2009).

c. Teori Freatik Dangkal (*Shallow Phreatic Theory*)

Pada teori ini terdapat empat tahapan pembentukan gua dan sungai bawah tanah. Tahapan pertama merupakan tahap pelarutan batuan yang terjadi secara acak pada kedalaman tertentu secara vertikal ke bawah. Kemudian tahapan kedua merupakan penggabungan dan pengembangan dari hasil pelarutan yaitu berupa saluran-saluran gua. Tahapan ketiga merupakan tahap pengendapan material dan pengisian air pada saluran-saluran gua. Tahapan keempat merupakan tahap pengangkatan lapisan tanah dan erosi. Dalam tahapan keempat ini mengakibatkan saluran gua terangkat diatas level air tanah (Davis, 1980 dalam Handayani, 2009).

Sebagian gua-gua yang terdapat di daerah Gunung Sewu merupakan gua yang terbentuk di zona vadus, dan sebagian lainnya merupakan gua yang terbentuk pada level muka air tanah. Gua-gua pada zona vadus di Gunung Sewu biasanya dialiri air hanya pada musim penghujan (Handayani, 2009).

2.1.2 Metode Very-Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM)

2.1.2.1 Teori Dasar

Metode *Very-Low Frequency Electromagnetic* atau biasa disebut VLF-EM merupakan salah satu metode geofisika yang dimanfaatkan untuk eksplorasi benda konduktif (Santos dkk., 2006). Metode ini dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi dangkal pada daerah yang tidak rata (morfologi berbukit-bukit) karena mobilitasnya dikenal sederhana (Jeng dkk., 2007). Awalnya metode ini digunakan sebagai survei lapangan pendahuluan karena hasil yang didapatkan berupa interpretasi kualitatif. Hasil kualitatif ini memiliki resolusi yang kasar akibat prosedur yang ketat. Setelah adanya

perkembangan dari pemodelan inversi (Santos dkk., 2006) dan dapat diinterpretasikan secara kuantitatif, metode ini menghasilkan model struktur permukaan yang lebih akurat dan dapat dipercaya (Beamish, 1994), namun bergantung pada kualitas datanya.

Metode ini tidak memiliki pemancar frekuensi sendiri meskipun bekerja berdasarkan frekuensi. Dalam proses pengukuran, sinyal yang digunakan berupa gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer, karena pemancar berada jauh dari lokasi pengukuran. Sinyal VLF akan menjalar sebagai gelombang tanah sekaligus gelombang pantul diantara permukaan bumi dan lapisan ionosfer. Bumi yang memiliki kondisi bulat mengakibatkan efek pada sinyal yang dipancarkan berkurang. Sedangkan ionosfer mengakibatkan sinyal VLF dapat dideteksi pada jarak jauh. Hal ini disebabkan oleh adanya keberadaan elektron bebas dalam ionosfer menyebabkan reaksi sebagai lapisan pemantul pada frekuensi VLF (Beamish, 1994). Sumber *noise* utama pada sinyal VLF adalah radiasi medan EM akibat kilat atmosfer balik di tempat yang dekat/jauh dengan lokasi pengukuran. Hal ini mengakibatkan sinyal yang dipancarkan melemah. Gangguan sinyal di Indonesia cukup banyak, dicirikan dengan naiknya kuat medan listrik vertikal dan kuat medan magnet horizontal secara tiba-tiba dan relatif berbentuk Gaussian (jika sumber medan cukup jauh).

Metode elektromagnetik yang merambat pada konduktivitas batuan σ , permitivitas dielektrik ϵ , dan permeabilitas μ berlaku persamaan Maxwell yang dapat ditulis dalam domain frekuensi sebagai berikut:

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + i\omega\epsilon)\mathbf{E} \quad \text{Hukum Ampere} \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -(i\omega\mu_0)\mathbf{H} \quad \text{Hukum Faraday} \quad (3)$$

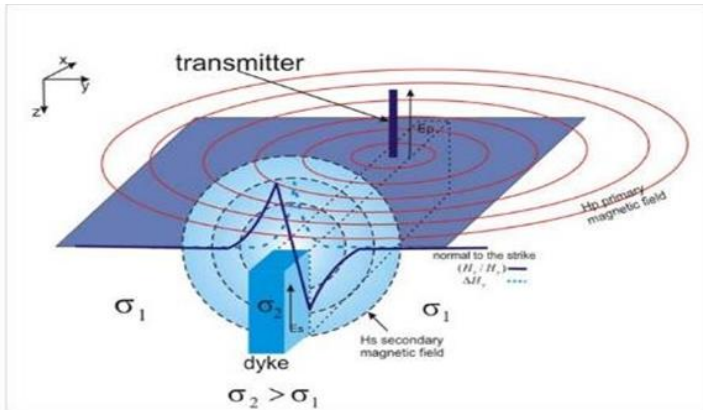
$$\nabla \cdot (\epsilon\mathbf{E}) = q \quad \text{Hukum Gauss} \quad (4)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0 \quad \text{Hukum Gauss} \quad (5)$$

dimana $\mathbf{E}e^{i\omega t}$ dan $\mathbf{H}e^{i\omega t}$ masing-masing merupakan vektor medan listrik dan medan magnet, fungsi waktu t dengan frekuensi sudut ω dan q merupakan densitas muatan (Kalscheuer dkk., 2008). Terdapat kuantitas $\mathbf{J}_{cond} = \sigma\mathbf{E}$, $\mathbf{J}_{disp} = i\omega\epsilon\mathbf{E}$, dan $\mathbf{J} = (\sigma + i\omega\epsilon)\mathbf{E}$ pada persamaan (2), masing-masing merupakan rapat arus konduksi, *displacement*, dan total. Rapat arus *displacement* $i\omega\epsilon\mathbf{E}$ menggambarkan efek dielektrik elektronik, *atomic*, *molecular*, dan perubahan ruang polarisasi bahan dengan permitivitas dielektrik ϵ sebagai akibat dari medan listrik sebagai fungsi waktu (Kalscheuer dkk., 2008).

Gelombang dari pemancar diasumsikan sebagai gelombang datar, dimana gelombang yang miring terhadap permukaan bumi pada bidang y - z dan

arah sumbu x adalah arah strike geolistriknya. Hal ini mengakibatkan admivitas ($\sigma + i\omega\epsilon$) dan komponen medan EM hanya bervariasi pada arah y dan z. Penjalaran gelombang VLF-EM termasuk dalam mode *Transverse Magnetic* (TE) yang mana menghilangkan komponen medan vertikal elektrik. Penjalaran ini menghasilkan output berupa data tipper (H_z/H_y) berbilangan kompleks yang berbentuk ellipsis/lingkaran. Apabila besar H_z dan H_y tidak sama, maka polarisasi berbentuk ellipsis, dan apabila besar H_z dan H_y sama maka polarisasi berbentuk lingkaran (Kalscheuer dkk., 2008).



Gambar 2. 6 Prinsip Kerja dan Distribusi Medan Elektromagnetik untuk Metode VLF-EM (Bosch dan Müller, 2001)

Gelombang EM primer yang dipancarkan oleh pemancar radio merupakan komponen medan magnetik dari gelombang tersebut. Gambar 2.6 memperlihatkan medan magnet primer akan menginduksi material konduktor yang terdapat di bawah permukaan terdapat, sehingga menimbulkan arus sekunder (arus *Eddy*). Arus *Eddy* ini yang menghasilkan medan magnet, disebut medan magnet sekunder. Data terukur pada dasarnya disebut *in-phase* dan *quadrature* dimana keduanya merupakan dua komponen utama untuk menentukan karakteristik kelistrikan dari material bawah permukaan. Besar kuat medan elektromagnetik sekunder sebanding dengan besarnya daya hantar listrik bawah permukaan, sehingga dengan mengukur kuat medan pada arah tertentu maka secara tidak langsung dapat mendeteksi daya hantar listrik batuan di bawah permukaan (Bosch dan Müller, 2001).

Parameter yang dihitung dari alat VLF-EM adalah *tilt angle* (α) dan eliptisitas dari pengukuran komponen *in-phase* dan *quadrature* medan magnet vertikal terhadap komponen horizontalnya. Kemiringan sumbu utama terhadap

bentuk polarisasi ellips disebut sudut *tilt*, sedangkan eliptisitas dinyatakan sebagai perbandingan antara sumbu minor terhadap sumbu mayor *ellips*. Besarnya sudut *tilt* akan sama dengan perbandingan H_z/H_x dari komponen *in-phase* dan untuk besarnya eliptisitas ε sama dengan perbandingan *quadrature*. Sudut *tilt* dapat dihitung oleh persamaan berikut:

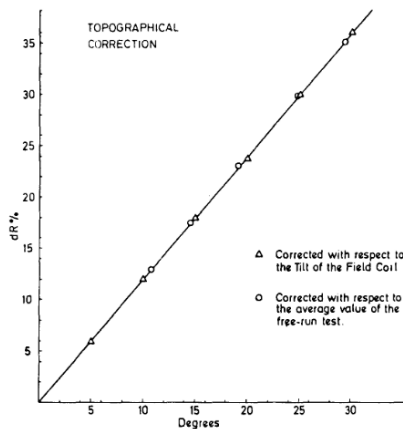
$$\tan 2\alpha = \pm \left[\frac{2 \frac{H_z}{H_x}}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2} \cos \Delta\phi \right] \times 100\% \quad (6)$$

Jika medan magnet horizontal (H_x) dan medan magnetik (H_z), $\Delta\phi = \phi_z - \phi_x$ adalah beda sudut, ϕ_z dan ϕ_x masing-masing merupakan sudut medan magnet komponen vertikal dan horizontal. Sedangkan eliptisitasnya diberikan sebagai (Srigutomo dan Harja, 2005):

$$\varepsilon = \frac{H_z}{H_1} = \left[\frac{H_z H_x}{(H_1)^2} \sin \Delta\phi \right] \times 100\% \quad (7)$$

2.1.2.2 Koreksi Topografi

Topografi dapat mempengaruhi hasil pengukuran VLF-EM, namun tidak secara signifikan apabila dilihat dari pengolahan data yang menggunakan perangkat lunak atau manual. Pengaruh dapat berbeda apabila daerah penelitian berada pada wilayah dengan topografi berupa bukit-bukit. Pada saat berada dalam bidang miring akan mengakibatkan medan sekunder sejajar dengan bidang miring, sedangkan medan primer tetap horizontal. Akibatnya resultan kedua medan tersebut akan mengikuti kemiringan topografi (Baker dan Myers, 1980).



Gambar 2. 7 Hubungan antara Derajat Kemiringan terhadap Pengaruh Topografi

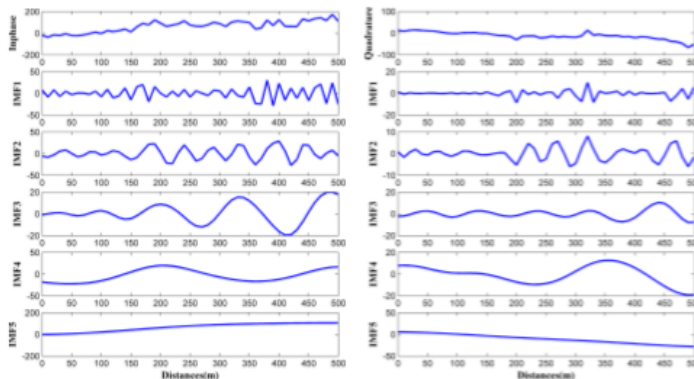
Gambar 2.7 menunjukkan pengaruh topografi berbanding lurus terhadap kemiringan. Koreksi ini berdasarkan studi kasus dari penelitian Baker dan Mayers, apabila benda konduktif diletakkan pada kemiringan topografi yang bervariasi, pengaruh topografi akan berbanding lurus terhadap kemiringannya. Data dapat diolah menggunakan perangkat lunak ataupun secara manual dengan mengabaikan pengaruh topografi, karena pengaruhnya yang tidak signifikan. Model dari koreksi ini berupa model empiris yang membandingkan antara nilai tilt 1 (R_1) dengan nilai tilt sesudahnya (R_2) pada lintasan yang memiliki kemiringan atau slope (Baker dan Myers, 1980).

$$R_{(1,2)} = \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) \pm TC \tag{8}$$

dimana R_1 adalah pembacaan data VLF-EM di titik 1 (%), R_2 adalah pembacaan data VLF-EM di titik 2 (%) dan TC adalah koreksi topografi (%).

2.1.2.3 Filter NA-MEMD

Data VLF-EM merupakan data *bivariate* yang mengandung sinyal intermiten yang berpengaruh dengan kualitas data VLF-EM (Sungkono dkk., 2016). Sinyal intermiten ini biasa disebut dengan derau atau *noise*. *Noise* ini berasal dari geologi yang disebabkan oleh sinyal VLF-EM sendiri (Everett dan Weiss, 2002) dan radiasi medan magnet elektromagnetik. Penggunaan filter dibutuhkan dalam mengolah data VLF-EM ini agar dapat mereduksi *noise-noise* tersebut. Hasil pengolahan filter *NA-MEMD* seperti pada Gambar 2.8, berupa penguraian data yang dapat dilihat melalui IMFs. Data yang telah terfilter *NA-MEMD* bisa dilihat pada Gambar 2.13 (b) untuk mengetahui hasil dari filter ini.



Gambar 2. 8 Contoh Hasil Pengolahan Filter *NA-MEMD* pada data *In-phase* (kiri) dan *Quadrature* (kanan) berdasarkan IMFs (Sungkono dkk., 2016)

Pengusulan algoritma multivariat EMD oleh Ur Rehman dan Mandic (2011) yang berguna untuk menguraikan sinyal dari data *multivariate* (lebih dari dua sinyal) secara bersamaan. Sedangkan untuk menguraikan sinyal *trivariate* atau lebih biasa digunakan metode MEMD. Metode ini juga dapat digunakan untuk menurunkan IMFs *univariate* dan *bivariate* dengan menambahkan jumlah saluran yang mengandung *White Gaussian Noise*. Pendekatan ini disebut sebagai *Noise-Assited MEMD*, yaitu kemampuan untuk meningkatkan hasil penguraian data *univariate* dan *bivariate*, maka pendekatan tersebut dapat mengurangi permasalahan dari *mode-mixing* dalam data *univariate* serta mengurangi *mode-mixing* dan mode *misalignment* untuk data *bivariate* (Sungkono dkk., 2016).

Pada sinyal *univariate*, IMFs didapat dari EMD yang memberikan respon frekuensi yang sama dengan bank filter diadik jika ditambahkan *White Gaussian Noise*. IMFs memiliki kesamaan dengan EMD, dimana IMFs diturunkan dari sinyal multivariat dengan menggunakan metode *NA-MEMD* untuk WGN mengikuti struktur Bank filter *quasi-dyadic* (Ur Rehman dan Mandic, 2011). Adapun algoritma *NA-MEMD* adalah sebagai berikut:

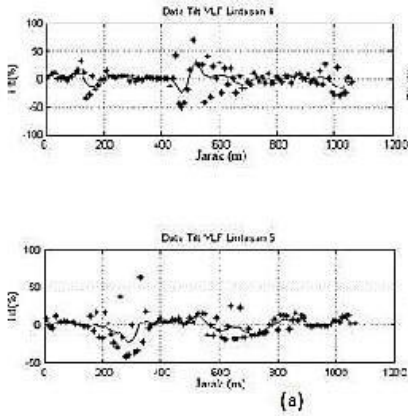
1. Membuat *Gaussian White Noise time-series* tak kolerasi (*m-channel*) dari panjangnya yang sama dengan panjang input.
2. Tambahkan saluran *noise (m-channel)* yang dibuat pada langkah 1 ke sinyal masukan *multivariate (n-channel)*, sehingga diperoleh (*n+m*)-*channel* sinyal *multivariate*.
3. Proses sinyal *multivariate (n+m)-channel* sinyal *multivariate* dihasilkan menggunakan algoritma MEMD untuk mendapatkan IMF *multivariate*.
4. Dari (*n+m*)-*channel* IMF *multivariate* yang dihasilkan, buang *m-channel* yang bersesuaian dengan *noise*. Sehingga memberikan satu set *n-channel* IMF yang sesuai dengan sinyal asli.

2.1.2.4 Filter Moving Average

Data VLF-EM cenderung mengandung *noise* yang bersifat lokal. Filter *Moving Average* merupakan filter yang cukup bagus untuk menghilangkan *noise* ini dengan cara memisahkan data yang mengandung frekuensi tinggi dan rendah. Sinyal dapat diasumsikan dengan data yang memiliki frekuensi tinggi, sedangkan *noise* dapat diasumsikan dengan data yang berfrekuensi rendah. Nilai anomali dapat diketahui dengan cara merata-rata nilai data kemudian dibagi dengan jumlah jendela yang digunakan. Penulisan secara matematis sebagai berikut (Nabighian, 1991):

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} x[i + j] \quad (9)$$

dimana $y[i]$ adalah sinyal *output* hasil filter *Moving Average*, $x[i + j]$ adalah sinyal input, dan M adalah orde filter. Nilai yang di filter dengan *moving average* adalah nilai jarak, *tilt* dan elliptisitasnya. Hasil dari pengolahan filter ini dapat dilihat pada Gambar 2.9, menunjukkan adanya koreksi data lapangan.



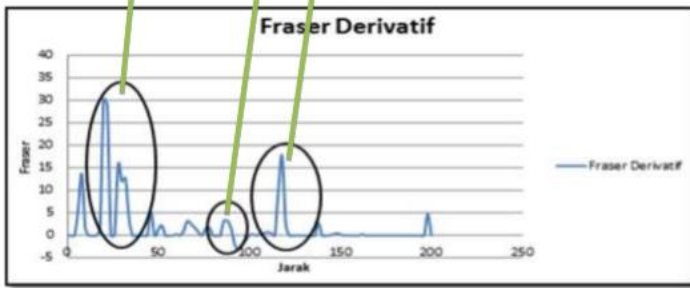
Gambar 2. 9 Contoh Hasil Pengolahan Filter *Moving Average* pada 2 Data VLF-EM (Yusmita, 2018)

2.1.2.5 Filter Fraser

Filter Fraser dapat berfungsi untuk menyaring data di topografi. Filter ini biasanya digunakan pada data *tilt angle* yang merupakan hasil polarisasi elipstik medan magnet bawah permukaan. Perhitungan filter ini menggunakan prinsip gradien horizontal dan penghalusan data untuk memberikan nilai maksimum pada benda yang lebih konduktif. Berikut fungsi penggambaran filter ini (Fraser, 1969):

$$F_n = (M_{n+2} + M_{n+3}) - (M_n + M_{n+1}) \tag{10}$$

Filter ini memiliki fungsi untuk melokalisir anomali yang sebelumnya tersebar menjadi tampak lebih fokus dan tajam. Hal ini dilakukan dengan cara mengurangi titik-titik yang memiliki ambiguitas tinggi pada saat menentukan titik anomali (Fraser, 1969). Seperti pada Gambar 2.10 yang dilingkari dan diberi garis hijau, menunjukkan suatu anomali konduktif (Indriyani, 2014). Interpretasi berdasarkan filter ini akan sedikit mengalami kesulitan. Hal ini dikarenakan penentuan titik perubahan tidak terfokus hanya pada satu titik. Apabila daerah penelitian memiliki banyak bahan konduktif, maka dalam menentukan titik perubahan akan lebih sulit (Fraser, 1969).



Gambar 2. 10 Contoh Hasil Pengolahan Filter *Fraser* berupa Grafik *Fraser Derivative* (Indriyani, 2014)

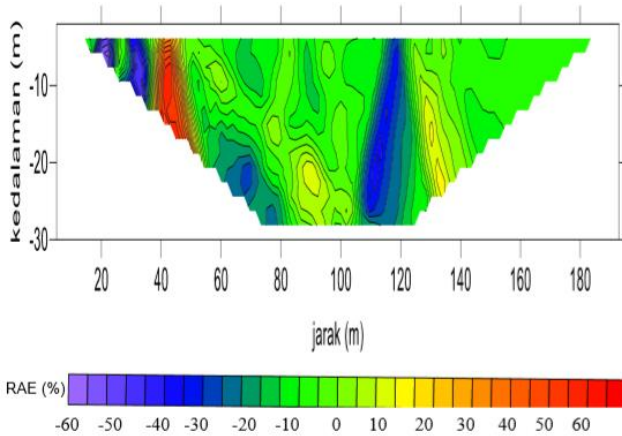
2.1.2.6 Filter *Karous-HJelt*

Pengembangan *Filter Fraser* dari konsep medan magnet yang berhubungan dengan aliran arus listrik disebut *Filter Karous-Hjlet*. Filter ini dikembangkan melalui filter statistika linier berdasarkan *Filter Fraser* dan teori filter linier dari Bendat dan Piersol (1968 dalam Karous dan HJelt, 1983). Hasil dari filter ini berupa profil variasi rapat arus ekuivalen (RAE) terhadap kedalaman yang diturunkan dari nilai komponen vertikal medan magnetik pada setiap titik pengukuran. Rapat arus ekuivalen terdiri dari arus yang menginduksi dan terkonsentrasi dalam konduktor akibat daerah sekelilingnya yang kurang konduktif. Medan magnetik yang diukur diasumsikan sebagai penentuan rapat arus yang menghasilkan medan magnetik identik (Karous dan HJelt, 1983).

Posisi rapat arus dapat menginterpretasikan lebar dan kemiringan suatu anomali dengan kedalaman tertentu, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.11 (Indriyani, 2014). Bentuk sederhana dari filter ini adalah sebagai berikut (Karous dan HJelt, 1983):

$$H_0 = 0.102M_n - 0.059M_{n+1} + 0.561M_{n+2} - 0.561M_{n+4} + 0.059M_{n+5} - 0.102M_{n+6} \quad (11)$$

dimana H_0 adalah sinyal output hasil Filter Karous Hjelt dan M_n adalah data ke- n .



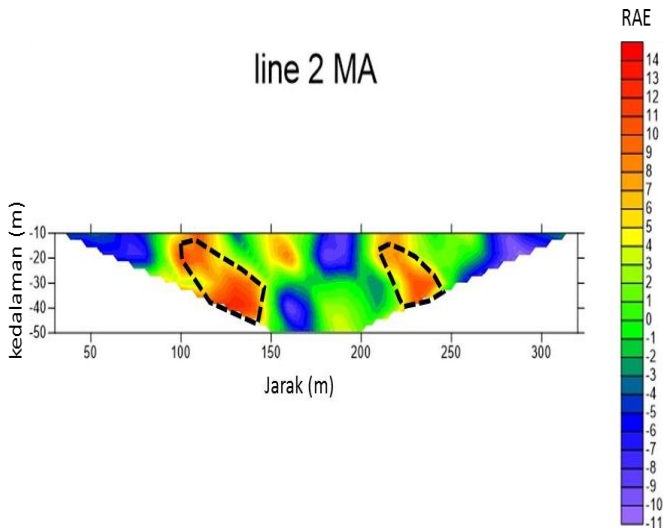
Gambar 2. 11 Contoh Hasil Pengolahan Filter Karous-HJelt berupa Penampang 2D RAE (Indriyani, 2014)

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan dari penelitian ini adalah tentang metode VLF-EM:

2.2.1 Penelitian di Desa Sekar, Pacitan

Survei dengan metode VLF-EM dilakukan di kawasan karst Desa Sekar, Pacitan. Terdapat 6 lintasan pengukuran dengan panjang sekitar 300-700 m yang terletak diantara 3 luweng yaitu, Luweng Kuniran, Luweng Kuniran II dan Luweng Kedung Banteng. Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh anomali yang diduga sebagai kemenerusan sungai bawah permukaan dengan hasil data rapat arus ekivalensi (RAE).

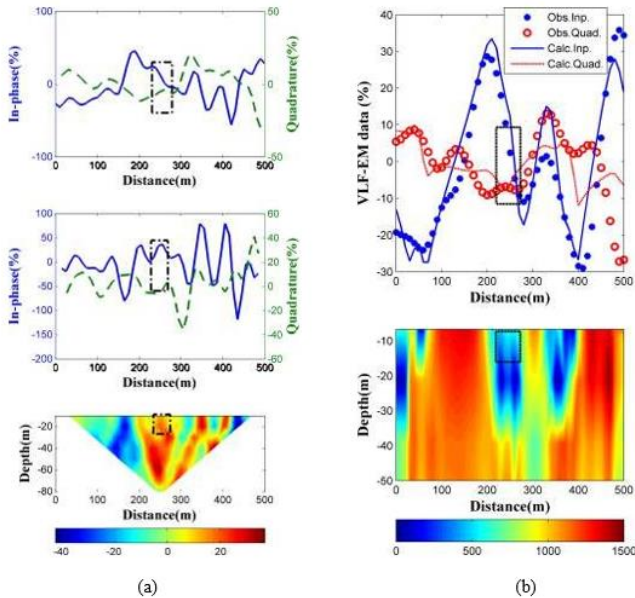


Gambar 2. 12 Hasil Penampang RAE (Amrin dkk., 2018)

Pada Gambar 2.12 menunjukkan anomali konduktivitas tinggi dengan nilai RAE sekitar 7.46-13.58 pada jarak 110-140 meter dengan perkiraan kedalaman 20-40 meter dan 6,31-11,22 pada jarak 210-240 meter dengan perkiraan kedalaman 20-30 meter. Anomali konduktivitas pada lintasan ini diduga merupakan gua bawah tanah yang berisi air. Dapat diindikasikan bawah anomali ini adalah sungai bawah permukaan (Amrin dkk., 2018).

2.2.2 Aplikasi *Filter NA-MEMD* pada Data VLF-EM

Filter *NA-MEMD* dapat digunakan untuk memisahkan data VLF-EM dari noise yang tidak diinginkan. Dalam menentukan posisi sungai bawah tanah dapat dilakukan dengan menampilkan penampang RAE dan penampang resistivitas yang dihasilkan oleh data VLF-EM, dimana data tersebut telah terfilter dengan *NA-MEMD*. Dalam menginterpretasi data VLF-EM secara kualitatif terbilang cukup sulit dikarenakan adanya noise pada data tersebut. Noise rendah dan tinggi pada bilangan gelombang harus dihapus dengan menerapkan filter *NA-MEMD*. Penyaringan data melalui dekomposisi *NA-MEMD* harus didasarkan pada karakteristik target yang diasumsikan dan konsep dasar sinyal VLF-EM (Sungkono dkk., 2016).

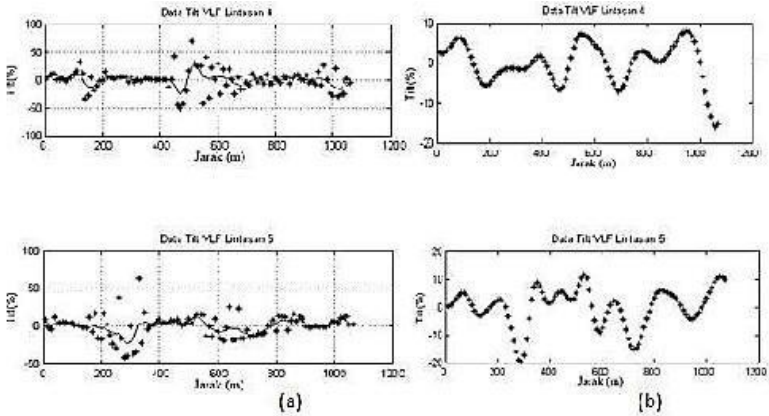


Gambar 2.13 (a) Penampang RAE terfilter *NA-MEMD*, (b) Penampang Resistivitas terfilter *NA-MEMD* (Sungkono dkk., 2016)

Gambar 2.13 (bagian atas) menunjukkan data VLF-EM yang difilter (*in-phase* dan *quadrature*), dihasilkan dari aplikasi *NA-MEMD*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kumpulan data VLF-EM sangat ditingkatkan setelah penyaringan data. Gambar 2.13 (bagian atas) juga menunjukkan bahwa beberapa penyeberangan nol (*in-phase* dan *quadrature*) juga ditemukan di jalur lain. Pendugaan sungai bawah permukaan lebih jelas terlihat setelah data VLF-EM terfilter *NA-MEMD*. Ditunjukkan oleh kotak hitam pada masing-masing penampang. Pada analisis anomali sungai bawah permukaan ditunjukkan hasil yang sama dalam pengolahan filter K-Hjelt, filteran Fraser, dan inversi (Sungkono dkk., 2016).

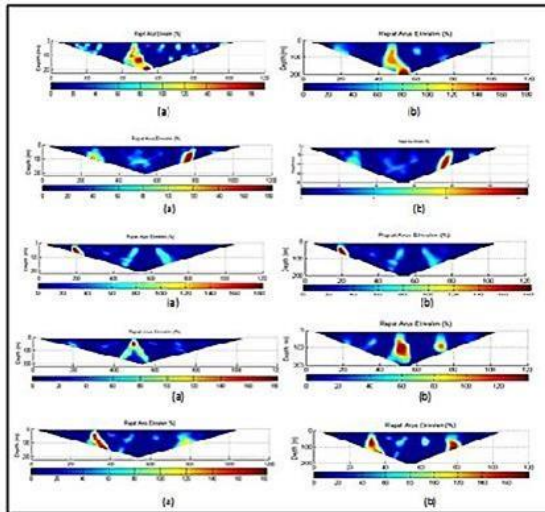
2.2.3 Pengaruh Filter Moving Average dan Filter *NA-MEMD* pada Data VLF-EM

Data VLF-EM yang didapat pada saat akuisisi mengandung *noise*. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data menggunakan Filter *Moving Average* dan Filter *NA-MEMD* sebelum diolah lagi menggunakan Filter KHjelt. Data yang diolah yaitu data *tilt* ataupun *elliptisitas* yang terbaca saat pengukuran.



Gambar 2. 14 Hasil Pengolahan Data Tilt (a) dengan Filter Moving Average (b) dengan Filter *NA-MEMD* (Yusmita, 2018)

Perbedaan dari hasil grafik dari pengolahan data dengan menggunakan filter *Moving Average* dan *NA-MEMD* terlihat sangat jelas pada Gambar 2.14. Hasil filter *Moving Average* masih mengandung sedikit *noise* daripada hasil yang sudah terfilter dengan *NA-MEMD*.



Gambar 2. 15 Penampang Kontur Rapat Arus (a) dengan Filter Moving Average dan (b) Filter *NA-MEMD* (Yusmita, 2018)

Gambar 2.15 memperlihatkan penampang rapat arus ekuivalen dari masing-masing lintasan, hasil kontur memperlihatkan perbedaan. Hasil pengolahan data tanpa menggunakan filter *NA-MEMD* cukup untuk membedakan antara anomali konduktif dan resistif. Pada hasil pengolahan data menggunakan filter *NA-MEMD*, anomali konduktif terlihat lebih jelas dan tegas. Perbedaan ini dikarenakan filter *NA-MEMD* untuk mengurangi noise yang memiliki nilai tinggi, namun bukan menghilangkannya. Sedangkan pada *Moving Average* menghilangkan *noise* yang berfrekuensi tinggi. Oleh karena itu, data yang terdistorsi *noise* pada filter *Moving Average* bisa teridentifikasi oleh filter *NA-MEMD* (Yusmita, 2018).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan. Lokasi penelitian ini, adanya jalur sungai bawah permukaan diindikasikan dengan adanya beberapa titik luweng yang diduga sejajar yaitu:

1. Luweng Dawung pada $8^{\circ} 8'49.51''\text{S}$, $110^{\circ}58'28.99''\text{E}$
2. Luweng Musuk pada $8^{\circ} 9'30.73''\text{S}$, $110^{\circ}57'33.80''\text{E}$

3.2 Peralatan Penelitian

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

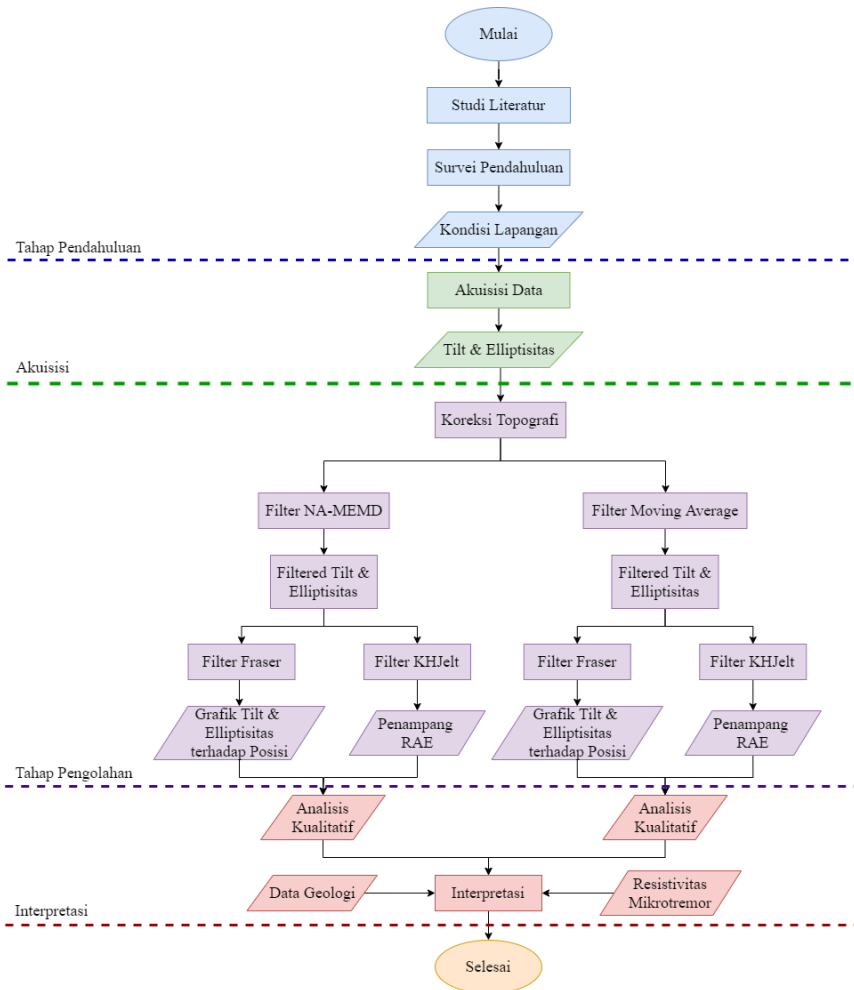


Gambar 3. 1 Alat Penelitian

- Alat ukur VLF-EM T-VLF BRGM dari IRIS Instrumen satu set
- Satu buah GPS
- Satu buah kompas
- Satu buah meteran 50 meter
- Alat tulis satu set

3.3 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian VLF-EM kali ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian terdiri tahap pendahuluan, akuisisi, tahap pengolahan, dan interpretasi:

3.3.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan meliputi studi literatur dan survei pendahuluan. Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan data studio sebelum melakukan

survei pendahuluan. Data-data yang digunakan berupa peta geologi, peta topografi, peta administrasi, dan data luweng yang sudah ada. Survei pendahuluan bertujuan untuk menambah data luweng serta studi lapangan dengan membentang panjang lintasan yang memungkinkan untuk dilakukan pengukuran, medan lapangan dan kondisi sekitar lapangan.

3.3.2 Akuisisi

Pada tahap akuisisi ini bertujuan untuk menentukan jumlah lintasan pengukuran yang akan dilakukan. Hasil yang diperoleh saat akuisisi berupa data *tilt* dan *elliptisitas* dari suatu anomali konduktif yang ada di bawah permukaan.

3.3.3 Pengolahan Data

Tahap pengolahan data VLF-EM terdiri dari beberapa filter, yaitu filter *NA-MEMD*, filter *Moving Average*, filter Fraser dan filter KHJelt. Pada tahap filter *NA-MEMD* dan *Moving Average* berfungsi untuk menghilangkan noise dalam data VLF-EM. Data yang sudah terfilter akan diolah lagi menggunakan filter Fraser dan KHJelt. Pada tahap filter ini berfungsi untuk mengidentifikasi anomali konduktif yang ada di bawah permukaan. Hasil dari tahap pengolahan berupa grafik *fraser derivative* dan penampang 2D rapat arus ekuivalen (RAE). Software yang digunakan pada tahap pengolahan berupa MATLAB dan Microsoft Excel.

3.3.4 Interpretasi

Tahap ini terdiri dari analisis kualitatif dan interpretasi anomali. Analisis kualitatif bertujuan untuk menganalisis hasil dari filter *NA-MEMD* dan *Moving Average*. Sementara interpretasi bertujuan untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan berdasarkan grafik *fraser derivative* dan penampang 2D RAE dari filter Fraser dan KHJelt. Dikarenakan data VLF memiliki akurasi yang kurang baik, hasil interpretasi akan diintegrasikan dengan data geologi, resistivitas batuan sekitar dan data partikel motion dari pengukuran mikrotremor. Data dari pengukuran resistivitas memberikan nilai kuantitatif dari batuan sekitar dan partikel motion memberikan hasil kualitatif berupa arah pergerakan akibat indikasi sungai bawah permukaan.

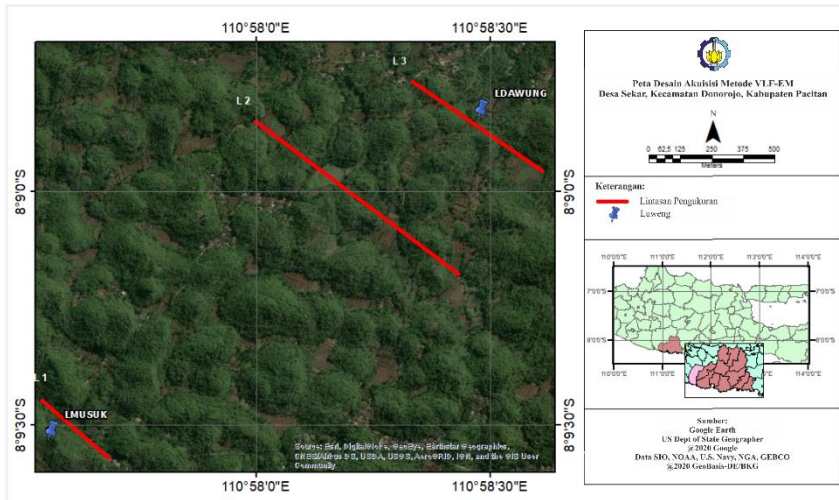
3.4 Desain Akuisisi

Desain akuisisi yang akan dilakukan meliputi 3 lintasan dengan spasi antar titik 10 m yang akan dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Lintasan Pengukuran

Lintasan (L)	Koordinat Titik Awal		Koordinat Titik Akhir		Panjang (m)
	S	E	S	E	
L1	8° 9'26.93"	110°57'32.65"	8° 9'34.16"	110°57'41.04"	350
L2	8° 8'51.04"	110°57'59.90"	8° 9'10.62"	110°58'25.97"	900
L3	8° 8'45.89"	110°58'20.06"	8° 8'57.41"	110°58'36.70"	550

Lintasan pengukuran digambarkan pada peta pengukuran dibawah ini:



Gambar 3. 3 Peta Desain Akuisisi Pengukuran VLF-EM

BAB IV HASIL

4.1 Data Hasil Akuisisi

Data hasil akuisisi yang diambil merupakan data yang memiliki frekuensi 22.000 Hz karena data ini cenderung cukup stabil (McNeill dan Labson, 1991). Data yang telah diperoleh dari lapangan berupa nilai tilt, elliptisitas, H Horizontal, H Vertikal, dan *Quality Check*, seperti pada Tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4. 1 Data Lapangan Metode VLF-EM Lintasan 1

Jarak (m)	Tilt (%)	Ellips (%)	H Hor ($\mu\text{A/m}$)	H Ver ($\mu\text{A/m}$)	Quality Check	
					Q Bar (%)	SH, SE, SHE
0	36	35	1.42	1.07	80	
10	13	43	3.59	1.24	80	
20	29	24	3.26	1.42	90	
30	28	21	1.95	1.6	75	
40	27	24	3.43	1.67	95	
50	28	32	2.3	1.12	80	
60	49	58	2.38	1.72	75	
70	32	30	3.72	2.02	80	
80	31	32	2.76	1.49	75	
90	-11	30	1.25	0.83	75	
100	22	17	2.86	1.4	65	SH
110	36	-10	2.7	1.64	75	
120	43	10	2.19	1.33	60	
130	55	29	2.58	1.55	65	
140	49	27	3	1.6	70	
150	51	30	2.71	1.8	70	
160	50	25	2.09	1.47	60	
170	53	24	2.33	1.59	65	
180	51	24	1.61	1.57	50	
190	54	22	2.92	1.44	60	
200	31	-9	2.45	0.48	65	SH
210	49	6	2.65	2.34	70	
220	28	27	1.95	1.55	70	
230	38	35	1.89	1.34	60	
240	55	42	2.37	2.22	70	SH

250	53	24	2.63	2.2	65	SH
260	50	22	2.93	1.22	70	
270	29	19	2.35	1.52	75	
280	30	14	2.63	1.9	70	
300	36	26	3.2	1.22	70	
310	93	22	2.4	2.09	65	SH
320	83	25	1.93	1.51	75	
330	79	23	2.66	2.04	75	
340	73	16	2.26	1.37	60	
350	34	1	2.38	1.38	60	SH

Berdasarkan data lapangan yang diperoleh, dapat dilihat pada *quality check* terdapat Q bar, SH, SE, dan SHE. Q bar disini menunjukkan *quality coefficient* data yang terukur, apabila *quality coefficient* bernilai 100% dapat diasumsikan bahwa data yang terukur tidak mengandung *noise*. Apabila data yang terukur tidak memenuhi 100%, maka data tersebut tercampur dengan *noise*. Adanya SH, SE, dan SHE menunjukkan kualitas data yang diambil buruk, diperkirakan banyak gangguan yang masuk ke sensor alat. Gangguan tersebut biasanya berasal dari sekitarnya. Munculnya gangguan SH menunjukkan adanya *overload magnetic*, SE untuk *overload electric*, dan SHE untuk *overload magnetoelectric* (Geophysics, 2006). Apabila data yang diambil mengandung SH, SE, atau SHE, maka data dianggap mengandung *noise*. Dilihat dari Tabel 4.1, data lapangan pada lintasan 1 secara umum terkontaminasi *noise*, namun pada beberapa data di jarak 100-350 meter terdapat gangguan *noise* yang lebih daripada yang lainnya.

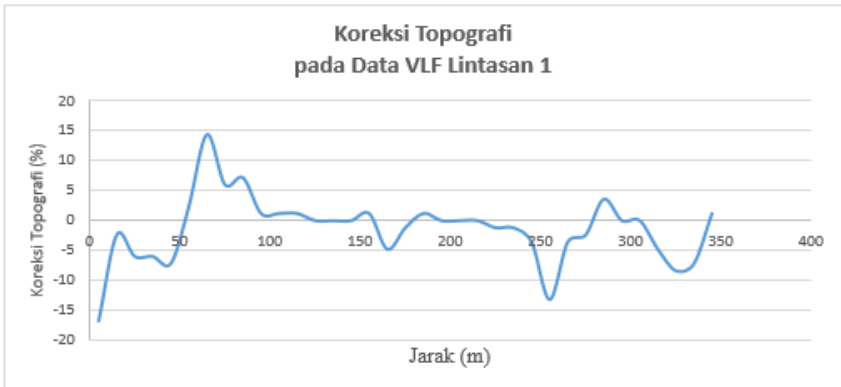
4.2 Analisis Filter

Data VLF-EM akan diolah adalah data tilt dan ellips yang akan dikoreksi terlebih dahulu menggunakan koreksi topografi untuk menghilangkan efek topografi daerah penelitian. Setelahnya menggunakan filter NA-MEMD dan *Moving Average* dimana kedua filter ini termasuk kedalam filter *low pass* (Gonzalez dan Woods, 2002). Tujuan dari penggunaan kedua filter ini yaitu membandingkan filter mana yang cocok pada data VLF-EM ini. Berikut analisis dari beberapa pengolahan yang dilakukan:

4.2.1 Koreksi Topografi

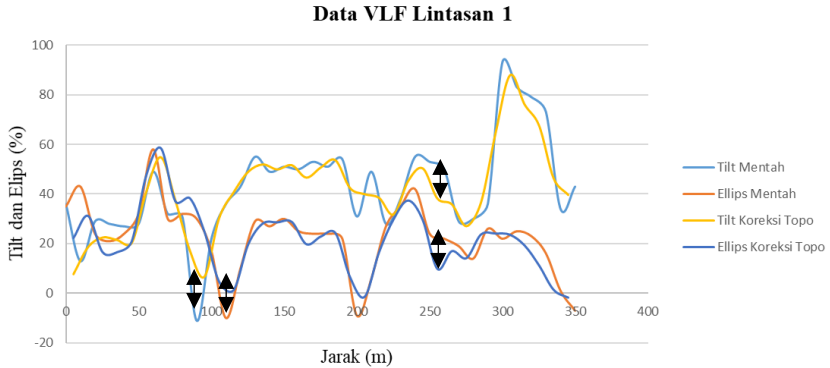
Elevasi yang bervariasi dapat mempengaruhi data VLF-EM. Adanya koreksi topografi digunakan guna mereduksi pengaruh elevasi (Baker dan Myers, 1980) yang ada di daerah penelitian terhadap data hasil penelitian. Satuan nilai elevasi dapat dinyatakan dalam meter di atas permukaan laut (mdpl). Adanya

perbedaan nilai elevasi dapat menghasilkan perbedaan pada nilai koreksi topografi. Berdasarkan koreksi topografi Baker dan Myers, berikut hasilnya pada data penelitian.



Gambar 4. 1 Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 1

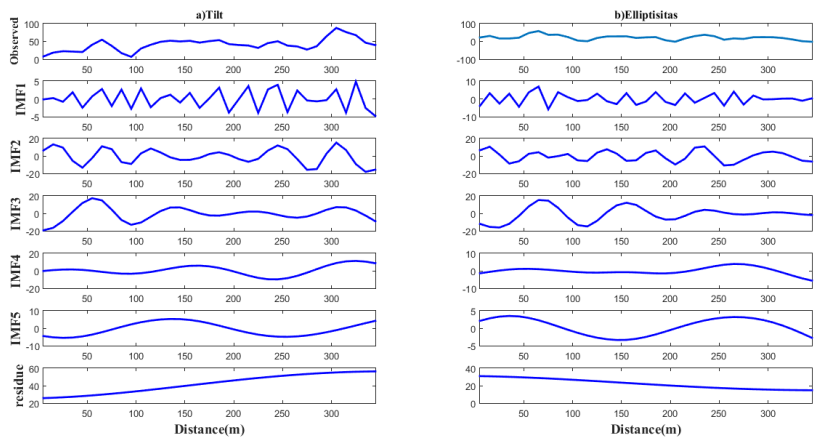
Gambar 4.1 menunjukkan koreksi topografi yang ada dalam tiap titik pengukuran pada lintasan 1. Koreksi topografi disini bervariasi mulai dari $\pm 2\%$ sampai dengan $\pm 16\%$ terhadap nilai *tilt* dan *ellips*. Hal ini didasari oleh analisis Baker dan Myers (1980) yang menyatakan pengaruh topografi berbanding lurus terhadap kemiringan. Hasil dari efek adanya koreksi topografi dapat dilihat pada Gambar 4.2. Koreksi topografi terhadap data VLF-EM ini cukup berpengaruh (Baker dan Myers, 1980) dengan adanya pengurangan dan penambahan nilai di tiap titik pengukuran, meskipun tidak menunjukkan hasil yang terlalu signifikan.



Gambar 4. 2 Hasil Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 1

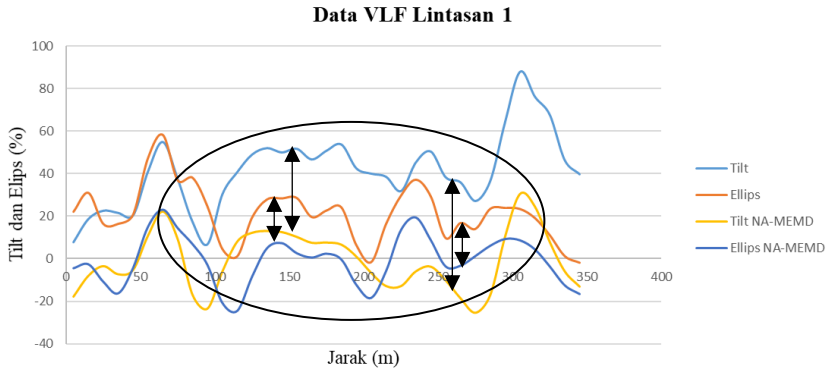
4.2.2 Filter NA-MEMD

Filter ini berguna untuk mereduksi data yang mengandung *noise* akibat dari kondisi geologi lapangan. Pada proses ini digunakan tambahan dua *variate Gaussian noise* dengan standard deviasi 0.03 dari masing-masing data tilt dan ellipstisitas, seperti yang direkomendasikan Sungkono dkk (2016). NA-MEMD digunakan untuk mendekomposisikan (memisahkan sinyal berdasarkan titik optimumnya) data VLF-EM secara *adaptive*. Proses dekomposisi menggunakan algoritma NA-MEMD sehingga menghasilkan beberapa *intrinsic mode function* (IMF). Adanya IMF selanjutnya untuk merekonstruksi kedua data VLF-EM. Hasil filter NA-MEMD sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Hasil Dekomposisi menggunakan NA-MEMD untuk data a) Tilt dan b) Elliptisitas pada Lintasan 1

Gambar 4.3 menunjukkan hasil dekomposisi algoritma NA-MEMD pada data VLF-EM lintasan 1 yang berupa IMF. Menurut Jeng dkk., (2007), pemilihan komponen IMF berguna untuk merekonstruksi ulang sinyal. Komponen IMF yang dipilih harus mencerminkan target yang dianggap wajar, serta mempertimbangkan konsep dasar sinyal dan noise VLF-EM. Hal ini dapat dilihat dari distribusi energi yang tersebar di setiap komponen IMF. Komponen IMF pertama menunjukkan distribusi energi yang berantakan (Jeng dkk., 2007), sementara IMF residu merupakan representasi dari efek geologi yang dalam ataupun *background noise* karena tidak memotong titik nol (mengalami penyimpangan), sehingga tidak merepresentasikan anomali target (Sungkono dkk., 2016). Oleh karena itu, IMF 1 dan IMF residu tidak diikutkan penjumlahan dalam merekonstruksi atau memfilter data VLF-EM. Pada data VLF-EM lintasan 1, IMF yang dipilih yaitu IMF 2, IMF 3, IMF 4 dan IMF 5 untuk merekonstruksi data yang difilter. Dengan demikian, hasil data VLF-EM sebelum dan setelah terekonstruksi oleh filter NA-MEMD dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 4.4.



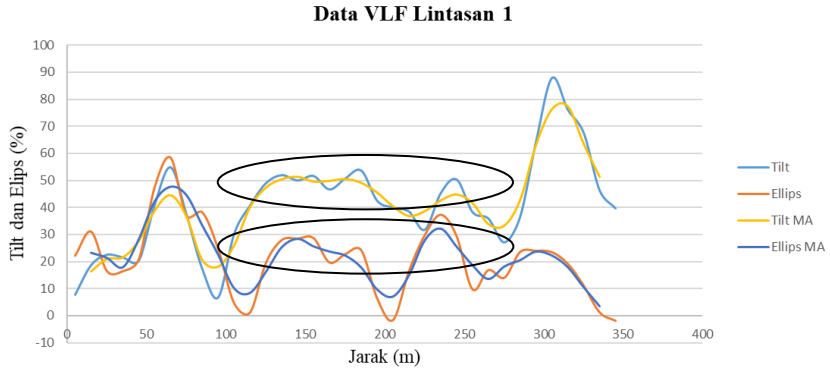
Gambar 4. 4 Hasil Filter NA-MEMD pada Data VLF-EM Lintasan 1

Gambar 4.4 menunjukkan hasil dari rekonstruksi data VLF-EM. terlihat lebih terlokalisasi. Secara grafik perbedaan antara sebelum dan sesudah dilakukan filter NA-MEMD cukup signifikan. Adanya efek kondisi geologi dapat diasumsikan dengan melihat dari grafik ditunjukkan oleh lingkaran dan tanda panah hitam. Geologi daerah penelitian berupa batuan karst berongga, sehingga data penelitian akan memiliki tren yang fluktuatif. Data fluktuatif pada tren grafik yang sama dapat diasumsikan sebagai data yang mengandung *noise*. *Noise* tersebut dapat mempengaruhi sebagian data apabila tidak dihilangkan dan menyebabkan kesalahan pada saat interpretasi. Lingkaran hitam dan tanda panah menunjukkan hasil signifikan bahwa data VLF-EM menjadi lebih presisi dan dianggap tidak memiliki *noise*. *Noise* yang terdapat pada data VLF-EM mulai tereduksi dengan baik melalui penguraian dan penggabungan ulang IMF yang ada (Ur Rehman dan Mandic, 2011). Adanya kondisi ini memungkinkan adanya asumsi bahawa data VLF-EM ini sudah terbebas dari *noise univariate* maupun *multivariate* baik secara geologi dan radiasi medan elektromagnetik (Sungkono dkk., 2016).

4.2.3 Filter Moving Average

Jenis filter *moving average* yang digunakan untuk pengolahan ini berupa *simple moving average* (SMA). Filter jenis ini merupakan filter yang paling sederhana dan tidak menggunakan pembobotan dalam perhitungan (Widodo dan Hansun, 2016). *Simple moving average* (SMA) dihitung dengan cara mengambil nilai rata-rata pada rentang waktu tertentu. Filter ini berguna untuk menghilangkan *noise* yang terkandung dalam data dengan cara memisahkan data yang mengandung frekuensi tinggi dan rendah. Data VLF-EM

yang mengandung frekuensi tinggi diasumsikan sebagai sinyal, sedangkan data yang berfrekuensi rendah diasumsikan sebagai *noise*. Filter ini lebih sederhana daripada filter NA-MEMD karena data tidak perlu diuraikan terlebih dahulu. Pada proses ini digunakan *window* kecil untuk memunculkan efek lokal, sehingga anomali terlihat dan terbebas dari *noise* (Nabighian, 1991). Hasil dari filter moving average sebagai berikut:



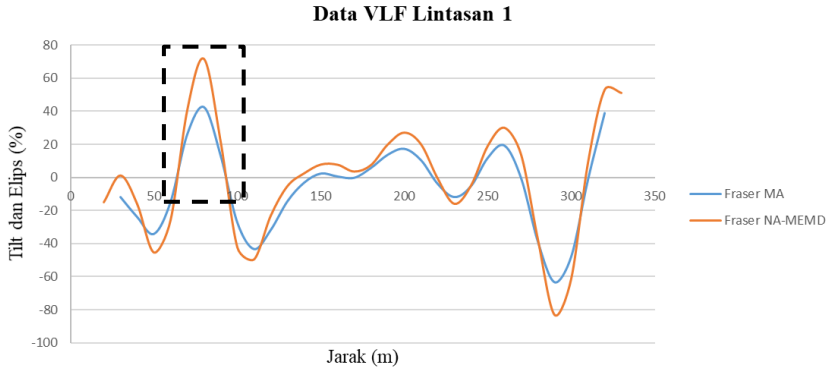
Gambar 4. 5 Hasil Filter *Moving Average* pada Data VLF-EM Lintasan 1

Gambar 4.5 terlihat bahwa hasilnya terlihat bahwa data VLF-EM yang terfilter lebih halus. Lingkaran hitam menunjukkan perbedaan data yang sudah terfilter *moving average*. Terlihat data yang sudah terfilter menjadi lebih halus. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik fluktuasi yang cenderung stabil. Akan tetapi, filter *simple moving average* (SMA) ini membuat data penelitian menjadi lebih sedikit karena menggabungkan beberapa data menjadi satu dengan cara merata-rata. Filter ini menganggap sinyal yang berfrekuensi rendah akan sebagai *noise* karena target data ini merupakan sinyal frekuensi tinggi (Nabighian, 1991).

4.3 Analisis Hasil

Analisis hasil terdiri dari analisa kualitatif menggunakan filter Fraser dan Karous-HJelt, dimana kedua filter ini berguna untuk mengetahui lokasi adanya sautu anomali yang berada pada daerah penelitian. Filter Fraser dapat melokalisir anomali dengan cara mengurangi titik-titik ambiguitas tinggi (Fraser, 1969). Hasil dari pengolahan filter Fraser dapat dilihat pada Gambar 4.6, terlihat anomali lebih terkonsentrasi dimana sebelumnya tersebar secara luas. Adanya suatu anomali dapat ditunjukkan dengan hubungan grafik tilt dan elips (Fraser, 1969). Kedua grafik yang sebelumnya bersilangan dirubah menjadi titik

optimum. Apabila tilt berada pada nilai optimum, hal ini dapat digunakan untuk menduga posisi anomali konduktif. Namun, apabila ellips berada pada nilai optimum, keadaan ini dapat digunakan untuk memprediksi posisi anomali resistif (Fraser, 1969 dalam Wijayanti, 2017).



Gambar 4. 6 Hasil Filter Fraser pada Data VLF-EM Lintasan 1 Setelah Terfilter NA-MEMD dan *Moving Average*

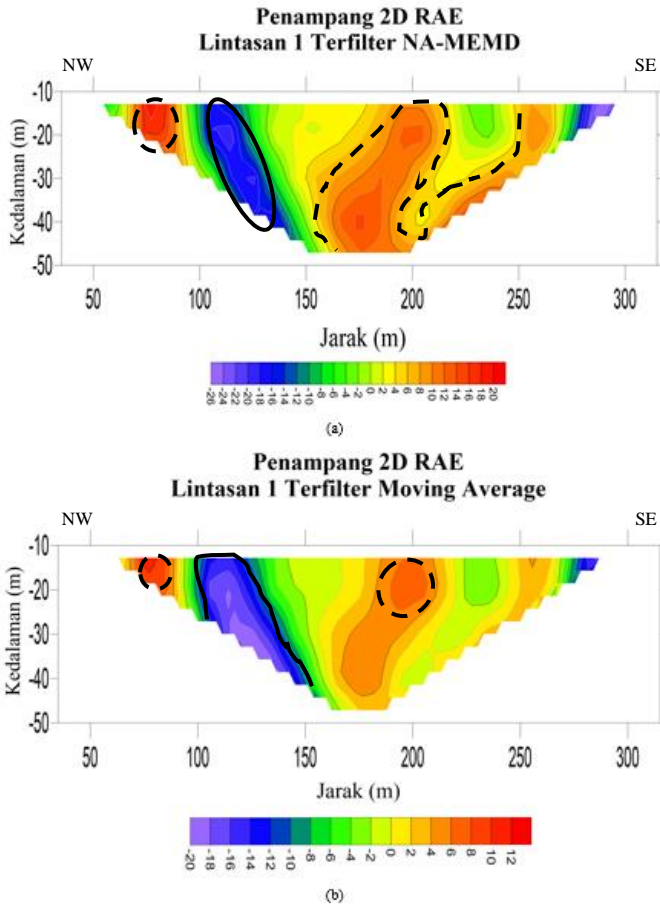
Dilihat dari hasil filter NA-MEMD pada Gambar 4.4 jarak 80-100 meter dan hasil filter *moving average* pada Gambar 4.5 jarak 50-100 meter terjadi persilangan antara grafik tilt dan ellips. Kemudian setelah difilter Fraser, persilangan tersebut menjadi nilai optimum (Wijayanti, 2017), seperti terlihat pada Gambar 4.6 yang ditunjukkan oleh kotak warna hitam. Pada gambar tersebut terlihat hasil filter NA-MEMD memiliki nilai optimum 75, sedangkan filter *moving average* memiliki nilai optimum 41. Lebar grafik optimum pada filter NA-MEMD terlihat lebih kecil daripada filter *moving average*. Adanya perbedaan hasil ini dipengaruhi oleh proses pemfilteran data VLF-EM sebelumnya.

Filter Karous-HJelt merupakan pengembangan dari filter Fraser oleh Bendat dan Piersol (1968 dalam Karous dan HJelt, 1983). Hasil dari filter ini bergantung dengan besarnya spasi pengukuran saat akuisisi, oleh karena itu diperoleh profil variasi rapat arus ekuivalen (RAE) sebagai kedalaman semu (bukan kedalaman yang sebenarnya) seperti terlihat pada Gambar 4.7. Suatu anomali dapat dilihat dari besarnya nilai rapat arus yang diperoleh. Apabila suatu anomali diakibatkan oleh benda konduktif, maka arus yang mengalir akan pada benda tersebut besar. Namun, jika arus yang mengalir pada benda tersebut kecil, maka anomali tersebut dapat dikatakan sebagai anomali resistif. Penampang 2D

RAE menampilkan anomali konduktif yang dapat ditandai dengan adanya warna orange hingga merah. Warna ini menunjukkan besarnya nilai rapat arus yang lebih besar. Sedangkan anomali resistif ditandai dengan adanya ungu hingga biru dengan besar nilai rapat arus yang lebih kecil (Karous dan HJelt, 1983 dalam Wijayanti, 2017). Filter Karous-HJelt tidak dapat menentukan letak kedalam suatu anomali yang sebenarnya. Prediksi letak anomali hanya dapat diidentifikasi melalui *pseudosection* densitas arus pada lokasi horizontal dengan variasi rapat arus pada kedalaman yang sama antar titik pengukuran (Karous dan HJelt, 1983).

Pada Gambar 4.7 terlihat sedikit perbedaan terhadap hasil dua filter yang sebelumnya digunakan. Kedua filter menunjukkan hasil adanya suatu anomali yang diakibatkan oleh benda konduktif, juga anomali resistif yang berada di lintasan pengukuran. Namun, pada Gambar 4.7 (a) menunjukkan hasil dari filter NA-MEMD, dimana terdapat anomali konduktif lebih dominan daripada anomali resistif. Anomali konduktif yang ditunjukkan oleh garis hitam putus-putus lebih terfokus dan jelas. Sedangkan anomali resistif ditunjukkan oleh garis hitam. Gambar 4.7 (b) menunjukkan hasil akibat filter *moving average*, dimana terdapat dua anomali konduktif dan resistif. Namun anomali konduktif tidak terfokus dan cenderung kurang begitu jelas. Anomali konduktif ditunjukkan oleh dua lingkaran hitam putus-putus dan anomali resistif ditunjukkan oleh garis hitam.

Terdapat perbedaan yang signifikan dari perbandingan hasil filter NA-MEMD dan *moving average*. Terkait tujuan mencari anomali konduktif pada daerah penelitian, filter NA-MEMD menunjukkan hasil yang lebih terfokus dan jelas dibandingkan filter *moving average*. Hal ini dikarenakan adanya pemisahan dan rekonstruksi ulang sinyal yang terjadi ketika data terfilter oleh NA-MEMD (Sungkono dkk., 2016). Sehingga noise univariate maupun multivariate yang terjadi akibat geologi sekitar dan radiasi medan elektromagnetik (Ur Rehman dan Mandic, 2011) tereduksi dengan baik. Sedangkan hasil *moving average* diduga masih mengandung *noise* karena terfilter secara lebih sederhana (Yusmita, 2018). Hasil dari filter Karous-HJelt selaras dengan hasil dari filter Fraser sebelumnya yang menunjukkan letak anomali.



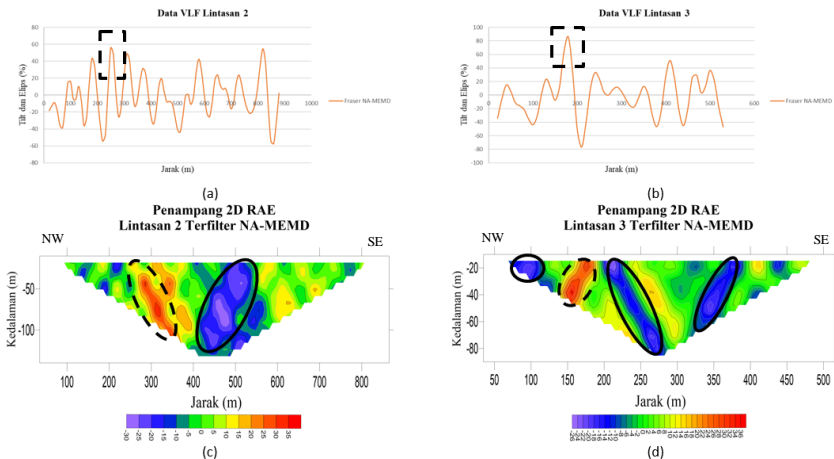
Gambar 4. 7 Hasil Filter Karous-HJelt pada Data VLF-EM Lintasan 1 Setelah Terfilter (a) NA-MEMD dan (b) *Moving Average*

4.4 Identifikasi Sungai Bawah Permukaan

Studi kasus yang ada pada penelitian ini berada pada daerah karst guna mengidentifikasi adanya sungai bawah permukaan. Identifikasi dapat dilakukan setelah data VLF-EM difilter menggunakan filter Fraser dan filter Karous-HJelt. Berdasarkan hasil analisis filter Fraser dan filter Karous-HJelt sebelumnya, filter NA-MEMD lebih cocok digunakan dalam mengidentifikasi sungai bawah permukaan yang ada di kawasan karst (Sungkono dkk., 2016; Yusmita, 2018)

daripada filter *moving average*. Identifikasi sungai bawah permukaan berdasarkan analisis kualitatif akan diduga dengan suatu anomali konduktif.

Berdasarkan hasil filter Fraser pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengolahan lintasan 1. Terdapat adanya dugaan anomali akibat adanya benda konduktif pada jarak 60-90 meter, dikarenakan grafik tilt menempati nilai maksimum, yaitu 71%. Posisi perkiraan anomali ini dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.7 (a) hasil filter Karous-HJelt. Anomali konduktif pertama terlihat pada jarak 60-90 meter dengan kedalaman sekitar 15-20 meter. Anomali konduktif kedua terletak pada jarak 160-200 meter dengan kedalaman 15-50 meter, seperti ditunjukkan oleh garis hitam putus-putus. Kedua anomali ini memiliki nilai RAE tinggi berkisar 12-22. Indikasi anomali konduktif juga didukung berdasarkan geologi lingkungan sekitar. Terdapat manifestasi berupa Luweng Musuk yang berjarak sekitar 60 meter di bagian barat daya lintasan 1 (Samodra, H.; Gafoer, 1992; Surono; Toha, 1992). Terdapat dugaan anomali resistif pada jarak 100-150 meter dilihat dari Gambar 4.7 (a). Anomali resistif ini memiliki nilai RAE rendah berkisar -20 sampai -16. Dugaan anomali resistif yang berada di lintasan ini berupa batuan karbonat terumbu yang memiliki kedalaman berkisar 15-45 meter cenderung menuju ke arah tenggara searah dengan lintasan pengukuran.



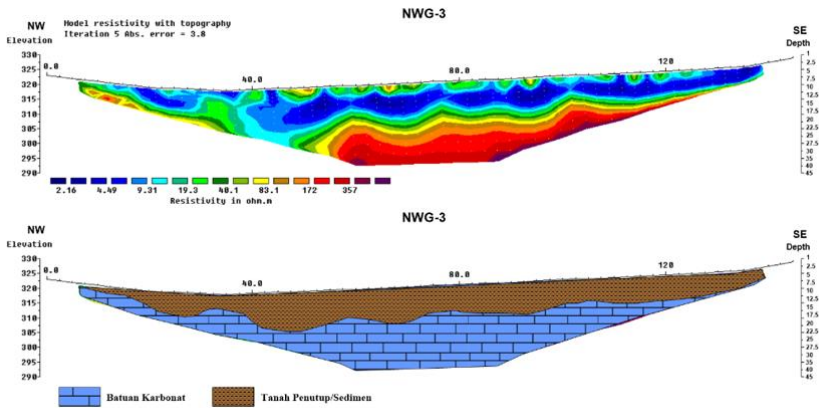
Gambar 4. 8 Hasil Filter Fraser pada Data VLF-EM (a) Lintasan 2, (b) Lintasan 3 dan Filter Karous-HJelt pada Data VLF-EM (c) Lintasan 2 dan (d) Lintasan 3 Setelah Terfilter NA-MEMD

Gambar 4.8 menunjukkan hasil dari filter Fraser dan Karous-HJelt pada lintasan 2 dan lintasan 3. Lintasan 2 menunjukkan adanya dugaan anomali

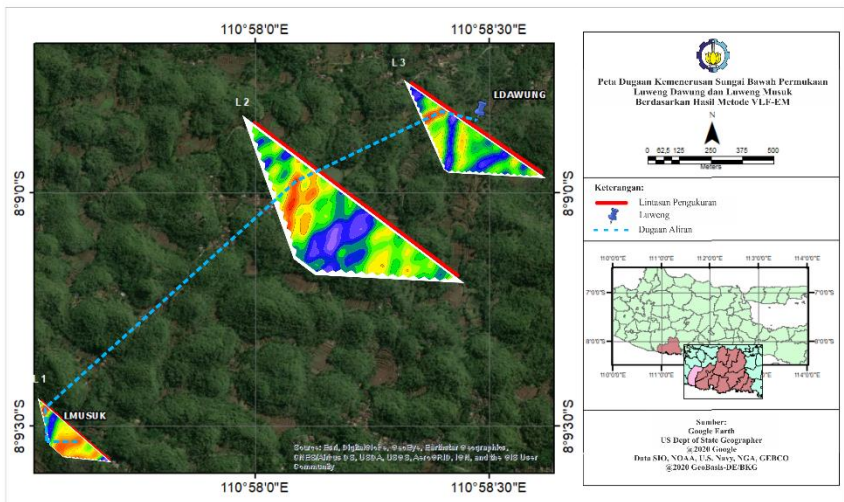
konduktif dilihat dari grafik *fraser derivative* pada Gambar 4.8 (a). Grafik tilt berada pada nilai maksimum dengan jarak 220-300 meter, seperti ditunjukkan oleh garis hitam putus-putus. Hal ini dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.8 (c) bahwa perkiraan anomali konduktif berada pada jarak antara 270-360 meter, ditunjukkan garis hitam putus-putus. Indikasi anomali ini berada di kedalaman berkisar 25-100 meter. Jika dilihat dari pola penampang 2D RAE, kedalaman anomali cenderung berada semakin ke arah tenggara searah dengan lintasan pengukuran. Anomali ini memiliki nilai RAE berkisar 20-40. Adapun dugaan lainnya yaitu, anomali resistif yang berarah barat laut dari lintasan, ditunjukkan oleh garis hitam. Anomali ini berada pada jarak 400-520 meter dengan nilai berkisar -30 sampai -10 di kedalaman 15-140 meter.

Hasil pengolahan data VLF-EM lintasan 3 dapat dilihat pada Gambar 4.8 (b) dan (d). Berdasarkan grafik *fraser derivative*, anomali konduktif berada pada jarak 170-200 meter. Hal ini dapat dilihat dari adanya grafik tilt yang berada pada nilai maksimum. Penampang 2D RAE pada Gambar 4.8 (d) menunjukkan posisi anomali konduktif yang berada pada jarak 140-190 meter. Anomali ini menunjukkan kedalaman yang berbeda, namun masih berhubungan. Kedalaman berada pada 15-45 meter dari permukaan lintasan dan memiliki besar nilai yang berkisar 24-40. Indikasi adanya anomali konduktif didukung oleh adanya manifestasi Luweng Dawung yang berada sekitar 60 meter di sebelah timur laut lintasan 3 (Samodra, H.; Gafoer, 1992; Surono; Toha, 1992). Terdapat perkiraan anomali resistif yang memiliki nilai RAE sekitar -26 sampai -12 sepanjang lintasan pengukuran ini. Anomali resistif pertama berada pada jarak 60-120 meter di kedalaman 10-40 meter. Anomali resistif kedua berada pada 200-290 di kedalaman 15-80 meter berarah tenggara searah lintasan. Anomali resistif ketiga berada pada 330-380 meter di kedalaman 15-70 meter.

Anomali konduktif yang ada di setiap lintasan diindikasikan sebagai sungai bawah permukaan. Sedangkan anomali resistif yang muncul di setiap lintasan pengukuran diindikasikan sebagai batuan karbonat yang berongga (luweng). Hal ini didukung oleh penelitian Nawangsari (2020) yang menunjukkan nilai resistivitas batuan. Litologi yang ada di daerah sekitar Luweng Dawung dan Luweng Musuk memiliki nilai resistivitas $>20 \Omega\text{m}$ yang diduga sebagai batuan karbonat. Kedalaman litologi batuan karbonat yang didapatkan dari penelitian ini sekitar 18 meter dari permukaan, seperti Gambar 4.9.



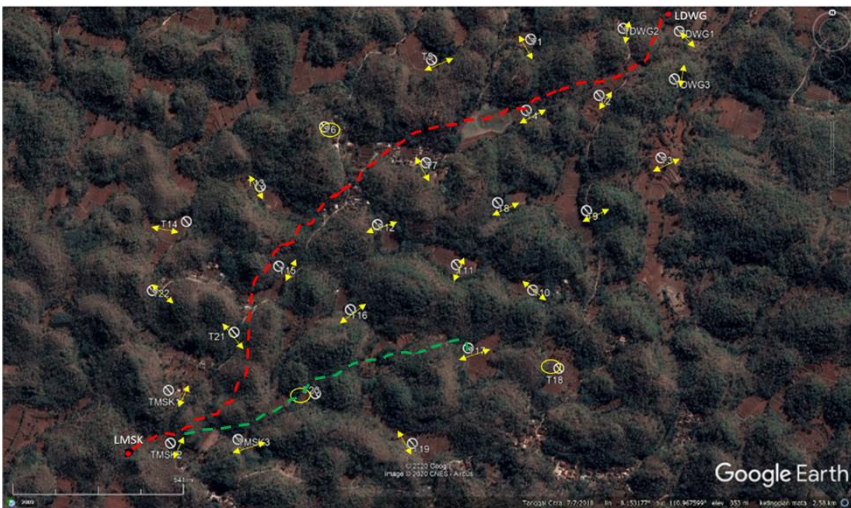
Gambar 4. 9 Hasil Penampang Resistivitas dan Gambaran Litologi Daerah Sekitar Penelitian



Gambar 4. 10 Peta Dugaan Kemenerusan Sungai Bawah Permukaan antara Luweng Dawung dan Luweng Musuk

Kemenerusan sungai bawah permukaan dapat diduga dengan cara menghubungkan tiap anomali konduktif yang ada, seperti pada Gambar 4.10. Indikasi kemenerusan sungai bawah permukaan dari Luweng Dawung menuju

Luweng Musuk berarah timur laut-barat daya dengan azimuth N45°E- N65°E. Terdapat dua cabang aliran disekitar Luweng Musuk, namun tidak muncul pada lintasan 2. Dugaan kemenerusan sungai bawah permukaan ini didukung oleh penelitian mikrotremor dari Setiawan (2020) berdasarkan analisis *particle motion* yang ada di daerah sekitar penelitian. Analisis ini menunjukkan adanya respon dari arah pergerakan partikel yang berbeda-beda di tiap titik, seperti pada Gambar 4.11. Pergerakan partikel ini diduga disebabkan oleh adanya sungai bawah permukaan yang ada. Indikasi kemenerusan ini berarah timur laut-barat daya dengan 2 arah kemenerusan yang berbeda.



Gambar 4. 11 Peta Dugaan Kemenerusan Sungai Bawah Permukaan berdasarkan *Particle Motion* (Setiawan, 2020)

Arah kemenerusan ini diperkirakan sebagai akibat dari adanya sesar mendatar Sesar Kladen dan Sesar Barong (Aliyan, 2018) yang diduga berada di sekitar daerah penelitian. Sesar-sesar ini menyebabkan terjadinya deformasi dan membentuk kekar. Kekar-kekar selanjutnya membentuk celah-celah kecil yang semakin mempercepat proses karstifikasi. Adanya sesar dapat mempengaruhi terbentuknya keberadaan sungai bawah permukaan secara tidak langsung. Pergerakan air yang melewati celah-celah akibat perkembangan sesar seperti luweng atau *sinkhole* sebagai manifestasi, sehingga sistem sungai ini diduga berkembang pada zona vadus atau bagian atas lapisan akuifer (Handayani, 2009).

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan, analisis dan interpretasi dari penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Filter NA-MEMD pada data VLF-EM merupakan filter lowpass yang berguna untuk mereduksi *noise* dengan cara pemisahan dan rekonstruksi ulang sinyal. Sedangkan filter *Moving Average* merupakan filter lowpass yang mereduksi *noise* dengan cara merata-rata nilai sinyal data VLF-EM. Berdasarkan data dari hasil filter NA-MEMD menunjukkan adanya peningkatan data pada proses penyaringan dan penurunan jumlah data yang tidak banyak. Sedangkan pada hasil filter *Moving Average* menunjukkan adanya penghalusan terhadap data serta penurunan jumlah data yang relatif lebih banyak. Berdasarkan analisis kualitatif, hasil pengolahan dari filter NA-MEMD lebih terfokus dan jelas daripada hasil dari filter *Moving Average*.
2. Adanya anomali zona resistif menunjukkan keberadaan luweng/rongga batuan karbonat. Anomali ini ditunjukkan oleh penampang 2D RAE berwarna biru dengan rentang nilai RAE -20 sampai -12 pada lintasan 1 di kedalaman 15-45 meter, RAE -30 sampai -10 di kedalaman 15-140 meter, dan RAE -26 sampai -12 di kedalaman 15-80 meter. Adanya anomali zona konduktif menunjukkan keberadaan sungai bawah permukaan di desa Sekar, Pacitan. Anomali zona konduktif ditunjukkan oleh penampang 2D RAE yang berwarna merah. Anomali tersebut memiliki nilai RAE berkisar 12-22 pada lintasan 1 dengan kedalaman 15-50 meter, RAE 20-40 pada lintasan 2 dengan kedalaman 25-100 meter, dan RAE 24-40 pada lintasan 3 dengan kedalaman 15-45 meter. Terdapat kemenerusan sungai bawah permukaan yang memiliki arah aliran berkisar N45°E- N65°E azimuth.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil penelitian dan pembahasan, diperoleh beberapa saran sebagai bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut. Berikut beberapa saran yang didapatkan:

1. Pengolahan dapat ditambahkan menggunakan inversi untuk mengetahui gambaran resistivitas bawah permukaan. Hal ini dapat mendukung analisis kuantitatif pada hasil penelitian
2. Hasil interpretasi perlu diuji guna mengetahui keadaan sekitar luar dari desain pengambilan data

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abd, A. dan Aal, E. (2017), *Identification and characterization of near surface cavities in Tuwaiq Mountain Limestone*, Riyadh, KSA, "detection and treatment", hal. 215–223.
- Adji, T.N., Haryono, E. dan Woro, S. (1999), "Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia", *Seminar PIT IGI*, hal. 26–27.
- Aliyan, S.A. (2018), *Identifikasi Kontrol Struktur Geologi terhadap Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan di Kawasan Karst Pringkuku, Pacitan*, Program Magister, Program Studi Geofisika, Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Amrin, I., Purwanto, M.S., Utama, W. dan Bahri, A.. (2018), "Identifikasi Sistem Sungai Bawah Tanah Daerah Karst Menggunakan Metode Very Low Frequency, Pacitan", *Jurnal Teknik ITS*, Vol.7, No.1, hal. 81–83.
- Baker, H.A. dan Myers, J.O. (1980), "A Topographic Correction for VLF-EM Profiles Based on Model Studies", *Geoexploration*, Vol.18, hal. 135–144.
- Beamish, D. (1994), "Two-dimensional, regularised inversion of VLF data", *Journal of Applied Geophysics*, Vol.32, No.4, hal. 357–374. [http://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90034-5](http://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90034-5).
- Bemmelen, R. van (1949), *Geology of Indonesia Vol II Economic Geology.pdf*.
- Bosch, F.P. dan Müller, I. (2001), "Continuous gradient VLF measurements: A new possibility for high resolution mapping of karst structures", *First Break*, Vol.19, No.6, hal. 343–349. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2397.2001.00173.x>.
- Everett, M.E. dan Weiss, C.J. (2002), "Geological noise in near-surface electromagnetic induction data", *Geophysical Research Letters*, Vol.29, No.1, hal. 2–5. <http://doi.org/10.1029/2001GL014049>.
- Ford, D. dan Williams, P. (2007), "Karst Hydrogeology and Geomorphology", *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, hal. 1–562. <http://doi.org/10.1002/9781118684986>.
- Fraser, D.C. (1969), "Contouring of Vlf-Em Data", *Geophysics*, Vol.34, No.6, hal. 958–967. <http://doi.org/10.1190/1.1440065>.
- Geophysics, H. (2006), *T-VLF User's Manual*.
- Gonzalez, R.C. dan Woods, R.E. (2002), *Digital Image Processing Second Edition*, Prentice Hall, New Jersey.
- Handayani, A. (2009), *Analisis Potensi Sungai Bawah Tanah di Gua Seropan dan Gua Semuluh untuk Pendataan Sumberdaya Air Kawasan Karst di Kecamatan Semanu Kabupaten Gunung Kidul Propinsi Daerah Istimewa Jogjakarta Tahun 2007*, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,

Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

- Haryono, E; Adji, T.N. (2017), "BAHAN AJAR", *Bahan Ajar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*, hal. 45.
- Indriyani, D.D. (2014), *Pemetaan Distribusi Aliran Sungai Bawah Tanah menggunakan Metode Geofisika VLF (Very Low Frequency) Daerah Karst Pracimantoro Kabupaten Wonogiri*, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Jeng, Y., Lin, M.J., Chen, C.S. dan Wang, Y.H. (2007), "Noise reduction and data recovery for a VLF-EM survey using a nonlinear decomposition method", *Geophysics*, Vol.72, No.5. <http://doi.org/10.1190/1.2752561>.
- Kalscheuer, T., Pedersen, L.B. dan Siripunvaraporn, W. (2008), "Radiomagnetotelluric two-dimensional forward and inverse modelling accounting for displacement currents", *Geophysical Journal International*, Vol.175, No.2, hal. 486–514. <http://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03902.x>.
- Karous, M. dan HJelt, S.E. (1983), "Linear Filtering of Vlf Dip-Angle Measurements", *Geophysical Prospecting*, Vol.31, No.5, hal. 782–794. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1983.tb01085.x>.
- Maulidina, M. (2015), *Analisa Struktur Bawah Permukaan Tanah di Sekitar Candi Gambar Wetan, Kabupaten Blitar dengan Metode Very Low Frequency (VLF-EM)*, Program Magister, Bidang Keahlian Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- McNeill, J.D. dan Labson, V.F. (1991), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics - Applications Part B*,.
- Nabighian, M.N. (1991), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics- Applications Part A and Part B*, Vol.2, hal. 15.
- Purwanto, E.H., Minarto, E. dan Bahri, A.S. (2015), "Aplikasi Metode Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM) untuk Karakteristik Bawah Permukaan di Daerah Kapur Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik (Halaman 38 s.d. 41)", *Jurnal Fisika Indonesia*, Vol.19, No.56, hal. 38–41. <http://doi.org/10.22146/jfi.24357>.
- Samodra, H.; Gafoer, S. (1992), *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, Skala 1:100.000* Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung Diambil dari <https://indogeologist.blogspot.com/2018/07/download-peta-geologi-regional-lemba-jawa-timur-lengkap.html>.
- Samodra, H. (2003), *Nilai strategis kawasan kars di indonesia dan usaha pengelolaannya secara berkelanjutan (*)*, hal. 1–170.
- Santos, F.A.M., Mateus, A., Figueiras, J. dan Gonçalves, M.A. (2006), "Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method - A case study", *Journal of Applied Geophysics*, Vol.60, No.2, hal.

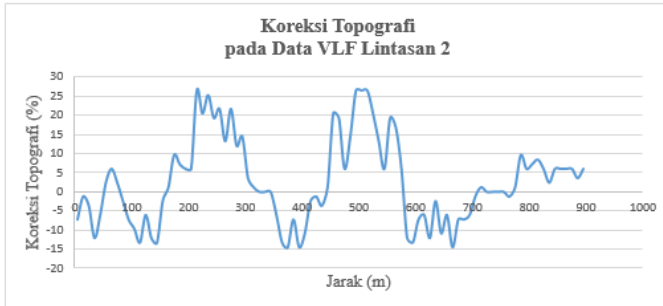
- 115–125. <http://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.01.002>.
- Shofyan, M.S., Hilyah, A. dan R, J.P.G.N. (2016), *Penerapan Metode Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM) untuk Mendeteksi Rekahan pada Daerah Tanggulangin, Sidoarjo*, No.October 2017. <http://doi.org/10.12962/j25023659.v2i2.1927>.
- Srigutomo, W. dan Harja, A. (2005), "VLF data analysis through transformation into resistivity value: application to synthetic and field data", *Indonesian Journal of Physics*, Vol.16, No.4, hal. 127–136. Diambil dari <http://ijp.papsi.org/index.php/ijp/article/viewArticle/81>.
- Sungkono, Santosa, B.J., Bahri, A.S., Santos, F.M. dan Iswahyudi, A. (2016), "Application of Noise-Assisted Multivariate Empirical Mode Decomposition in VLF-EM Data to Identify Underground River", *Advances in Data Science and Adaptive Analysis*, Vol.09, No.01, hal. 1650011. <http://doi.org/10.1142/s2424922x1650011x>.
- Surono; Toha, B.. S. (1992), *Peta Lembar Surakarta dan Giritontro, Jawa, Skala 1:100.000* Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung Diambil dari <https://indogeologist.blogspot.com/2018/07/download-peta-geologi-regional-lembar-jawa-tengah-lengkap.html>.
- Ur Rehman, N. dan Mandic, D.P. (2011), "Filter bank property of multivariate empirical mode decomposition", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.59, No.5, hal. 2421–2426. <http://doi.org/10.1109/TSP.2011.2106779>.
- Widodo, D. dan Hansun, S. (2016), *Implementasi Simple Moving Average dan Exponential Moving Average dalam Menentukan Tren Harga Saham Perusahaan*, No.December 2015. <http://doi.org/10.31937/ti.v7i2.354>.
- Wijayanti, N. (2017), *Pemetaan Aliran Sungai Bawah Tanah di Daerah Rengel-Tuban dengan menggunakan Metode Very Low Frequency-Electromagnetic (VLF-EM)*, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yusmita, Y. (2018), "Pendugaan Aliran Sungai Bawah Tanah Di Desa Hargosari Gunungkidul Yogyakarta Menggunakan Metode Very Low Frequency-Electromagnetic (Vlf-Em) Dengan Filter Noise Assisted- Multivariate Empirical Mode Decomposition (Na-Memd)", *Inovtek Polbeng*, Vol.8, No.1, hal. 74. <http://doi.org/10.35314/ip.v8i1.305>.

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

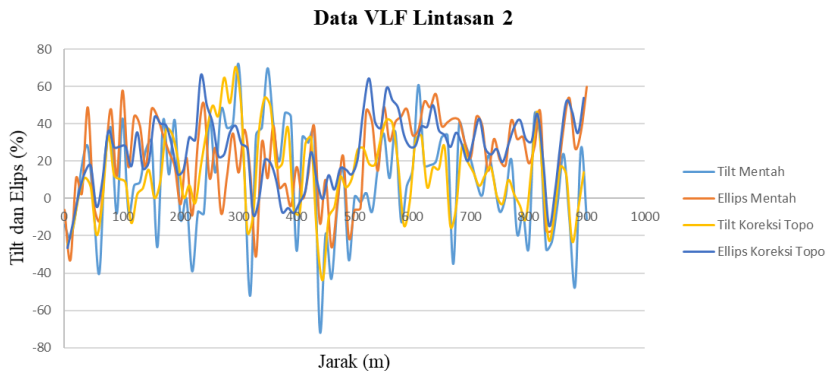
Lampiran 1 Hasil Pengolahan

A. Lintasan 2

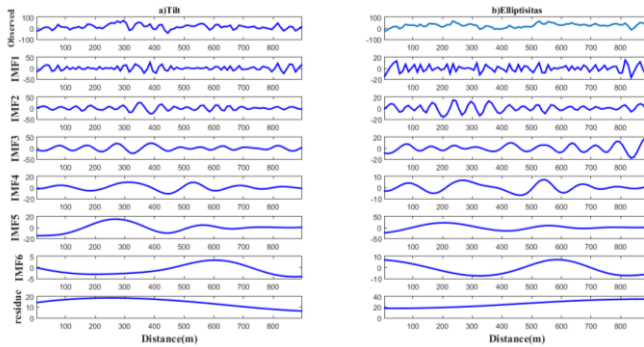


Gambar 1 Koreksi Topografi pada Lintasan 2

Koreksi topografi pada lintasan 2 bervariasi mulai dari -14% sampai dengan 26% dikarenakan daerah ini berbukit-bukit. Hasil setelah setelah dikoreksi topografi dapat dilihat pada Gambar 2.

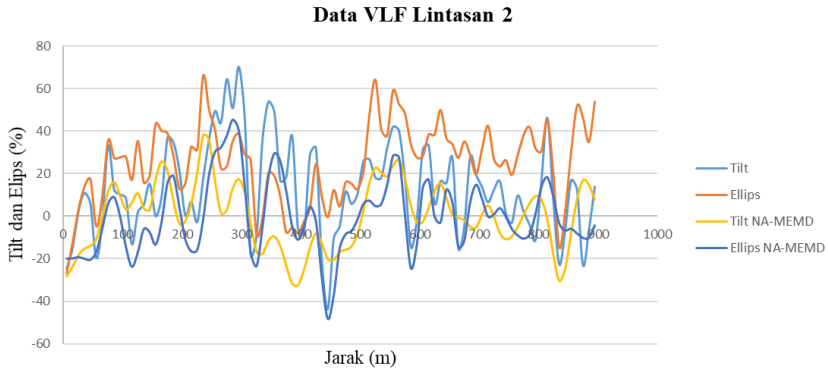


Gambar 2 Hasil Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 2

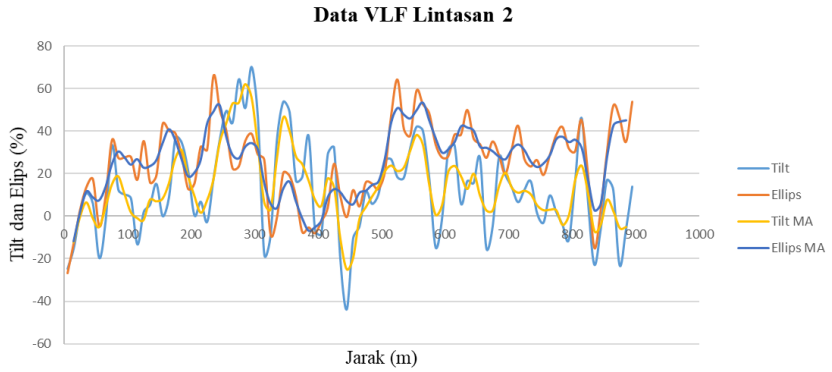


Gambar 3 Hasil Dekomposisi menggunakan NA-MEMD untuk data a) Tilt dan b) Elliptisitas pada Lintasan 2

IMF yang dipilih pada filter NA-MEMD adalah IMF 2, IMF 3, IMF 4, IMF 5 dan IMF 6. IMF 1 tidak dipilih karena masih mengandung energi yang acak dan berantakan. Sedangkan IMF residu tidak dipilih karena merupakan representasi dari efek geologi yang dalam ataupun *background noise* karena tidak memotong titik nol (mengalami penyimpangan).

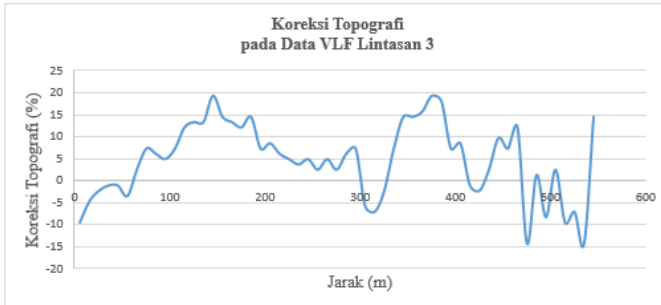


Gambar 4 Hasil Filter NA-MEMD pada Data VLF-EM Lintasan 2



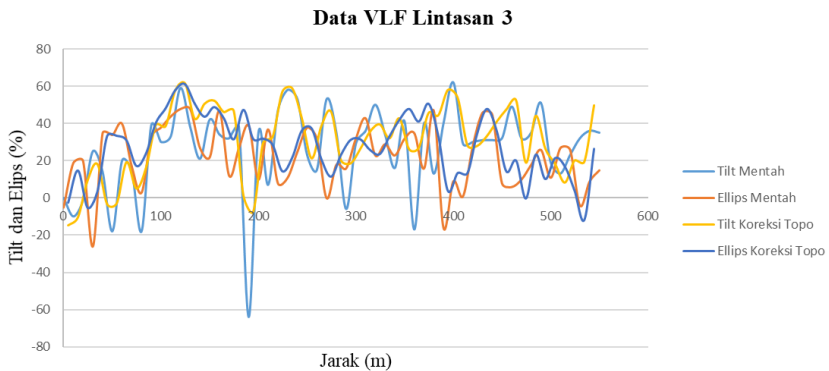
Gambar 5 Hasil Filter *Moving Average* pada Data VLF-EM Lintasan 2

B. Lintasan 3

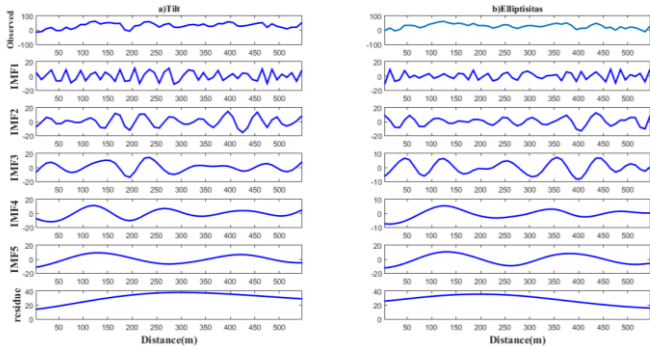


Gambar 6 Koreksi Topografi pada Lintasan 3

Koreksi topografi pada lintasan bervariasi mulai dari -14% sampai dengan 19% dikarenakan daerah ini berada pada bukit dan lembah/dolina. Hasil setelah setelah dikoreksi topografi dapat dilihat pada Gambar 7.



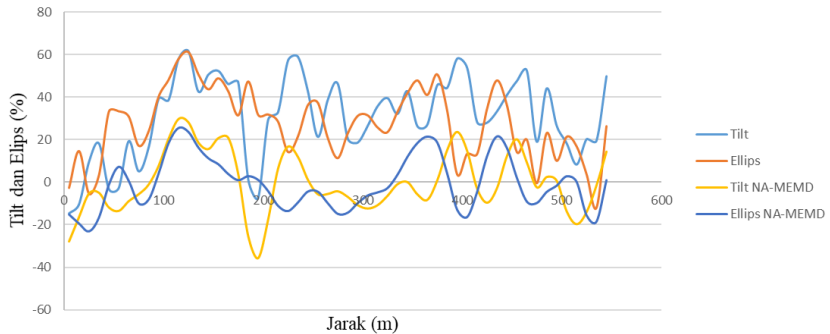
Gambar 7 Hasil Koreksi Topografi pada Data VLF Lintasan 3



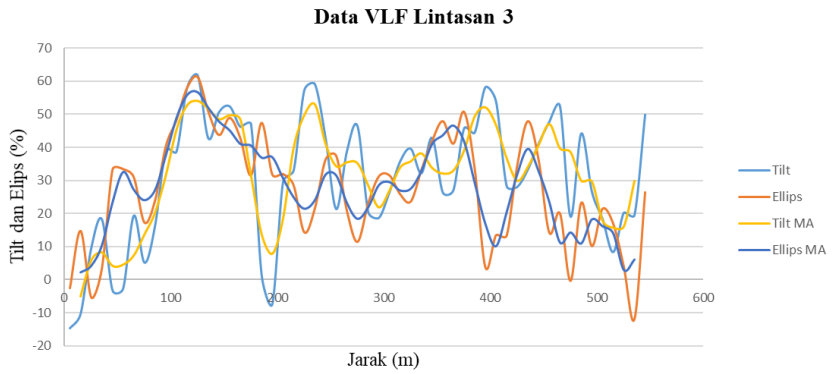
Gambar 8 Hasil Dekomposisi menggunakan NA-MEMD untuk data a) Tilt dan b) Elliptisitas pada Lintasan 3

IMF yang dipilih pada filter NA-MEMD adalah IMF 2, IMF 3, IMF 4, dan IMF 5. IMF 1 tidak dipilih karena masih mengandung energi yang acak dan berantakan. Sedangkan IMF residu tidak dipilih karena merupakan representasi dari efek geologi yang dalam ataupun *background noise* karena tidak memotong titik nol (mengalami penyimpangan).

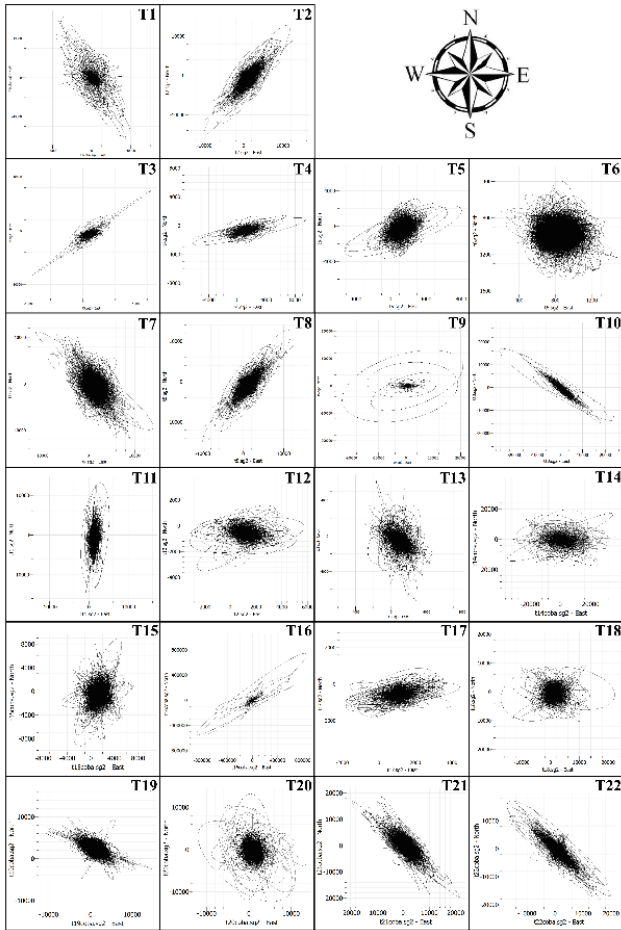
Data VLF Lintasan 3



Gambar 9 Hasil Filter NA-MEMD pada Data VLF-EM Lintasan 3



Gambar 10 Hasil Filter *Moving Average* pada Data VLF-EM Lintasan 3



Gambar 11 Resultan Pactice Motion di Daerah Penelitian (Setiawan, 2020)

Lampiran 2 Dokumentasi Manifestasi di Daerah Penelitian



Gambar 12 Luweng Dawung Tampak Dari Atas



Gambar 13 Luweng Musuk Tampak dari Samping

DAFTAR LUARAN

Daftar luaran tugas akhir berupa publikasi jurnal ilmiah dan prosiding terindeks baik secara nasional maupun internasional, seperti Geosaintek dan POMITS. Hal ini bertujuan untuk mendukung misi ITS menjadi World Class University (WCU).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Megawati Sunarno Putri lahir di Nganjuk, 3 April 1998 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDN Kartoharjo 3 (2004-2010), SMPN 3 Nganjuk (2010-2013), dan SMAN 1 Nganjuk (2013-2016). Penulis masuk di Departemen Teknik Geofisika ITS pada tahun 2016. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS, penulis mendapatkan pengalaman berorganisasi, seperti menjadi staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTG ITS (2017-2018), menjadi staff ahli Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTG ITS (2018-2019), dan menjadi pemandu LKMM ITS (2017-2019). Selain itu, penulis juga memiliki pengalaman dalam bidang kepanitiaan seperti menjadi Sie Acara pada GEOGEAR Departemen Teknik Geofisika ITS (2016), staff Divisi *Event* pada acara Geophysics Atmosphere (GEOSPHERE ITS) (2017, 2019), menjadi staff Divisi Event pada acara PUSAKA UKM UKTK ITS (2017), menjadi Komisi Disiplin dan Pemandu pada LKMM Pra-TD INCREDIBLE FTSLK-FADP ITS (2017), menjadi Komisi Materi pada LKMM-TD UKM UKTK (2018) menjadi Komisi Disiplin pada LKMM TD EXCAVATOR HMTG-ITS (2018), menjadi Organizing Committee pada PP-LKMM PANCARONA FTSLK-ITS (2018), menjadi Komisi Materi pada LKMM Pra-TD ACTION FTSLK-ITS (2018), menjadi Komisi Seleksi Data Center pada LKMM TD JACK HAMMER HMTG-ITS (2019).

Penulis memiliki pengalaman dalam bidang pelatihan pengembangan diri, seperti Pelatihan Karya Tulis Ilmiah HMTG-ITS (2016), PPMTG HMTG-ITS (2016-2017), LKMM Pra-TD REASON FTSP-ITS (2016), Guest Lecture “Petroleum System Analysis” HMTG-ITS, LKMW TD HMTG-ITS (2017), LKMM TD TURBOLIZER HMTG-ITS (2017), PP-LKMM PANDAWA FTSP-ITS (2017), Shortcourse “Nearsurface Geophysics” HMGI (2017), Petrophysics Training “Integrated Geomodelling” HMTG-ITS (2019), Workshop “Magnetotelluric Method” Departemen Teknik Geofisika ITS (2019), menjadi asisten praktikum FISIKA DASAR ITS (2017, 2019), menjadi asisten praktikum ELEKTROMAGNETIK Departemen Teknik Geofisika ITS (2020). Jika ingin berdiskusi lebih jauh terkait tugas skhir atau hal lain dapat menghubungi penulis melalui email megawatisp34@gmail.com.

