

TUGAS AKHIR - RF 184840

## **IDENTIFIKASI ZONA REMBESAN TANGGUL LUSI SIDOARJO MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DAN *GROUND PENETRATING RADAR***

Muhammad Nurachim Rahmatullah  
NRP 03411540000026

### **Dosen Pembimbing**

1. Dr. Dwa Desa Warnana S.Si., M.Si.  
NIP. 19760123 200003 1001
2. Juan Pandu Gya Nur Rochman S.Si., M.T.  
NIP. 19890612 201504 1 003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember







THESIS - RF 184840

## **IDENTIFICATION OF SIDOARJO LUSI EMBANKMENT LEAK ZONE USING GEOLISTRIC METHOD AND GROUND PENETRATING RADAR**

Muhammad Nurachim Rahmatullah  
NRP 0341154000026

### **Supervisor**

1. Dr. Dwa Desa Warnana S.Si., M.Si.  
NIP. 19760123 200003 1001
2. Juan Pandu Gya Nur Rochman S.Si., M.T.  
NIP. 19890612 201504 1 003

DEPARTMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Enviromental, and Geoscience Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2020

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul " IDENTIFIKASI ZONA REMBESAN TANGGUL LUSI SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DAN GROUND PENETRATING RADAR" 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, 15 Juni 2020



Muhammad Nurachim R.  
NRP. 0341154000026

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

NAMA :Muhammad Nurachim Rahmatullah  
NRP :03411540000026  
Departemen :Teknik Geofisika  
Judul Tugas Akhir IDENTIFIKASI ZONA REMBESAN TANGGUL  
LUSI SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE  
RESISTIVITAS DAN *GROUND PENETRATING  
RADAR*

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. Dwa Desa Warnana S.Si., M.Si.** (Pembimbing 1)  
**NIP. 19760123 200003 1 001**
2.   
.....  
**Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.** (Pembimbing 2)  
**NIP. 19890612 201504 1 003**
3.   
.....  
**Wien Lestari, S.T., M.T** (Penguji 1)  
**NIP. 19811002 201212 2 003**
4.   
.....  
**Nita Arivani, 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, S.Si., M.Si**  
**NIP. 19760123 200003 1 001**





# IDENTIFIKASI ZONA REMBESAN TANGGUL LUSI SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DAN GROUND PENETRATING RADAR

Nama Mahasiswa :Muhammad Nurachim Rahmatullah  
NRP :0341154000026  
Departemen :Teknik Geofisika  
Pembimbing I :Dr. Dwa Desa Warnana S.Si., M.Si.  
Pembimbing II :Juan Pandu Gya Nur Rochman S.Si., M.T.

## ABSTRAK

Lumpur Sidoarjo hingga kini masih terus memproduksi lumpur dan gas. Akumulasi lumpur menambah beban pada tanggul yang menahan hingga akhirnya jebol. Jebolnya tanggul ini dimulai dari retakan – retakan kecil pada tanggul yang disusupi lumpur. Lumpur ini berkomposisi 62-73% terdiri dari air merembes dan mengisi retakan tersebut. Apabila terjadi secara terus menerus, rembesan ini akan berpengaruh terhadap gaya tahan tanggul mengakibatkan longsor dan tanggul jebol. Salah satu cara meminimalisir tanggul jebol adalah dengan melakukan monitoring secara berkala. Pengukuran metode geofisika resistivitas dan metode *Ground Penetrating Radar* digunakan untuk mengetahui gambaran bawah permukaan tanggul dan mendeteksi intrusi lumpur berdasarkan parameter nilai resistivitasnya. Data pengukuran geolistrik dibandingkan dengan data GPR sehingga didapatkan dimana rembesan lumpur pada tanggul LUSI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rembesan air lumpur sudah masuk hampir ke semua bagian tanggul Ptangbendo titik P75-67 pada elevasi tanggul -3 hingga 6 meter.

**Kata kunci** : GPR, Rembesan, Resistivitas, Tanggul

# **IDENTIFICATION OF SIDOARJO LUSI EMBANKMENT LEAK ZONE USING GEOLISTRIC METHOD AND GROUND PENETRATING RADAR**

**Nama Mahasiswa** :Muhammad Nurachim Rahmatullah  
**NRP** :0341154000026  
**Department** :Teknik Geofisika  
**Pembimbing I** :Dr. Dwa Desa Warnana S.Si., M.Si.  
**Pembimbing II** :Juan Pandu Gya Nur Rochman S.Si., M.T.

## **ABSTRACT**

Lumpur Sidoarjo still continues to produce mud and gas. The accumulation of mud adds to the load on the embankment that holds it until it breaks. The breakdown of this embankment started from small cracks in the embankment infused with mud. This mud composition 62-73% consists of water seeping which filling the cracks. If it occurs continuously, this seepage will affect the resistance force of the embankment causing landslides and the embankment to burst. One way to minimize a broken embankment is by monitoring it regularly. Measurement of the geophysical resistivity method and the Ground Penetrating Radar method are used to determine the subsurface image of the embankment and detect mud intrusion based on its resistivity value parameter. Geoelectric measurement data is compared with GPR data so that it is found where the mud seepage is in the LUSI embankment. The results showed that the seepage of mud water had entered almost all parts of the Ptangbendo embankment point P75-67 at an embankment elevation of -3 to 6 meters.

**Keywords** : Embankment, GPR, Leakage, Resistivity

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada ALLAH SWT karena atas berkah, rahmat, dan petunjukNya atas iman, islam, dan ikhsan yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) ini dengan optimal dan tanpa suatu kendala apapun. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu di Teknik Geofisika ITS. Tugas Akhir dengan judul :

“IDENTIFIKASI ZONA REMBESAN TANGGUL LUSI SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DAN GROUND PENETRATING RADAR”

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang membantu penyusunan laporan Tugas Akhir (TA) dan proses penelitiannya.

1. Dr. Dwa Desa Warnana S.Si., M.Si. dan Bapak Juan Pandu Gya Nur Rochman S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan, saran dan motivasi selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku ketua jurusan Teknik Geofisika ITS.
3. Bapak Alwi Husein yang membantu penulis selama pengambilan data dan berdiskusi menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Keluarga tercinta, Ibu Lilik, Pak Dardiri dan Adikku Akbar yang selalu memberikan dukungan, semangat, didikan nasehat, kasih sayang dan doa restu kepada penulis.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan hasil tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 30 Juli 2020

Penulis

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Geologi Regional Kabupaten Sidoarjo.....	3
2.2 Stratigrafi Regional.....	4
2.3 Metode Resistivitas.....	6
2.3.1 Prinsip Dasar Metode Resistivitas.....	6
2.3.2 Hubungan Geologi dengan Resistivitas.....	7
2.4 Inversi 2D Metode Resistivitas.....	8
2.5 Metode GPR.....	10
2.5.1 Prinsip Dasar Metode GPR.....	10
2.5.2 Gelombang Elektromagnet.....	12
2.6 GSSI SIR-20.....	14
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>15</b>
3.1 Perangkat dan Data.....	15

3.2 Alur Penelitian.....	15
3.3 Studi Literatur.....	16
3.4 Pengumpulan Data Metode Resistivitas dan <i>Ground Penetrating Radar</i> .....	16
3.5 Pengolahan Data Metode Resistivitas.....	17
3.6 Pengolahan Data <i>Ground Penetrating Radar</i> .....	17
3.7 Analisa Hasil .....	18
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>19</b>
4.1 Analisa Data Metode Resistivitas.....	19
4.1.1 Pengumpulan data lapangan .....	19
4.1.2 Lintasan P75-67.....	20
4.1.3 Lintasan A.....	20
4.1.4 Lintasan B.....	21
4.2 Analisa Data Metode GPR.....	21
4.2.1 Pengumpulan data lapangan.....	21
4.2.2 Lintasan P75-67.....	22
4.2.3 Lintasan A.....	28
4.2.4 Lintasan B.....	28
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>30</b>
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran .....	30
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>33</b>
<b>LAMPIRAN A.....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN B.....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN C.....</b>	<b>43</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur .....	4
Gambar 2.2 Peta geologi sekitar semburan lumpur Sidoarjo .....	5
Gambar 2.3 Gambaran umum cara kerja pengukuran geolistrik tahanan jenis .....	6
Gambar 2.4 Diagram umum yang mendeskripsikan perbedaan pada penetrasi kedalaman dan resolusi .....	11
Gambar 2.5 GSSI SIR System-20 .....	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	15
Gambar 3.2 Gambar lintasan pengukuran .....	16
Gambar 4.1 Hasil pengolahan data resistivitas lintasan P75-67 .....	20
Gambar 4.2 Hasil pengolahan data resistivitas lintasan A .....	20
Gambar 4.3 Hasil pengolahan data resistivitas lintasan B .....	21
Gambar 4.4 Skema segmen 1 dan 2 pada lintasan A dan B .....	21
Gambar 4.5 Radargram hasil <i>editing marker</i> .....	22
Gambar 4.6 Radargram hasil <i>remove DCTimur</i> .....	23
Gambar 4.7 Radargram hasil <i>lowpass</i> dan <i>highpass fitering</i> .....	23
Gambar 4.8 Radargram hasil <i>background removal</i> .....	24
Gambar 4.9 Radargram hasil <i>lowpass</i> dan <i>highpass fitering</i> kedua .....	24
Gambar 4.10 Radargram hasil <i>gain</i> .....	25
Gambar 4.11 Radargram hasil <i>FK Filter</i> .....	25
Gambar 4.12 Radargram hasil <i>deconvolution</i> .....	26
Gambar 4.13 Radargram hasil dari migrasi .....	26
Gambar 4.14 Radargram hasil dari konversi <i>time to depth</i> .....	27

Gambar 4.14 Radargram hasil pengolahan data GPR lintasan P75-67..	27
Gambar 4.15 Radargram hasil pengolahan data GPR lintasan A .....	28
Gambar 4.16 Radargram hasil pengolahan data GPR lintasan B .....	28



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Resistivity dari jenis batuan, mineral and cairan kimia .....	8
Tabel 2.2 Permittivitas dielektrik relative yang dijumpai umum .....	12

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A .....	35
LAMPIRAN B.....	39
LAMPIRAN C.....	43

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lumpur Sidoarjo merupakan semburan lumpur panas disertai gas yang muncul pada tahun 2006 tepatnya pada tanggal 26 Mei. Semburan lumpur ini muncul dari hasil rembetan lumpur panas yang keluar mencari jalan dari lokasi pengeboran PT Lapindo. Sumber Lumpur ini cukup dalam 4000 – 5000 meter dengan puncak keluaran 100 ribu kubik per hari (BPLS). Semburan ini sangat berbahaya karena suhunya yang cukup tinggi 100 derajat celsius disertai dengan luapan gas. Daerah isian lumpur telah menggenangi 16 desa di tiga kecamatan yaitu kurang lebih seluas 500 hektar dengan kerugian harta benda tidak kurang 6 triliun. Selain itu semburan lumpur juga sempat memutus ganggangnya jalur transportasi Surabaya-Malang dan Surabaya-Banyuwangi serta kota-kota lain di bagian timur pulau Jawa. Ini berakibat pula terhadap aktivitas produksi di kawasan Ngoro (Mojokerto) dan Pasuruan yang selama ini merupakan salah satu kawasan industri utama di Jawa Timur.

Benteng pertama yang memisahkan antara lumpur panas Lapindo dengan area yang belum terdampak saat ini adalah tanggul LUSI. Tanggul ini sudah dibangun sejak awal menyemburnya lumpur dan telah mengalami beberapa kali perluasan dan peninggian. Warga disekitar area tanggul tidak merasa aman dan terus waspada. Kondisi tanggul lumpur di Sidoarjo mengkhawatirkan dan rawan jebol. Pasalnya, ketinggian air nyaris mencapai bibir tanggul yang ada di Desa Gempol Sari, Kecamatan Tanggulangin. Dari pantauan di lokasi, ketinggian air saat ini sekitar 15 cm dari bibir tanggul. Kondisi tersebut berada di tanggul lumpur yang amblas pada Oktober 2018 dengan panjang sekitar 100 meter. Warga Desa Gempol Sari terdiri dari 7 RT ini tidak bisa tidur. Mereka yang berjumlah sekitar 500 Kepala Keluarga (KK) atau 4 ribu orang itu pun didera was-was. hingga kini PPLS (Pusat Pengendalian Lumpur Sidoarjo terus berupaya mengurangi volume air dengan cara melakukan *over flow* yang dialirkan ke drainase yang ada.

Sudah banyak metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya untuk membantu proses monitoring dan identifikasi rembesan pada tanggul lumpur Sidoarjo. Contohnya adalah metode geokimia dan geotracking (A. Mazzini et al, 2007), Very low frequency magnetic ( Sungkono et al, 2014), seismic (Ranieri et al, 2005). Salah satu metode geofisika yang cocok untuk mendeteksi intrusi lumpur adalah metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) (K. Budiono, 2010) dan metode geolistrik tahanan jenis. Teknik GPR tidak merusak lingkungan di area penelitian karena bekerja dengan sistem ESP (*Electromagnetic Subsurface Profiling*), dengan cara memanfaatkan pengembalian electromagnet yang

dipancarkan melalui permukaan tanah dengan perantara antenna (Allen,1979). Data GPR ini akan dibandingkan dengan data geolistrik sehingga mendapatkan *output* berupa interpretasi kuantitatif dan kualitatif kondisi permukaan bawah tanah tanggul LUSI.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana gambaran bawah permukaan tanggul LUSI berdasarkan nilai resistivitas?
2. Bagaimana gambaran bawah permukaan tanggul LUSI berdasarkan karakteristik dari gelombang elektromagnetik?
3. Bagaimana hasil identifikasi rembesan air pada tanggul LUSI dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) dan *Ground Penetrating Radar* (GPR)?

## **1.3 Batasan Masalah**

Berdasarkan topik permasalahan dalam penelitian pada tugas akhir ini, penulis menyimpulkan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Data yang digunakan merupakan data resistivitas dan self potential di tanggul Lumpur Sidoarjo (LUSI) Jawa timur di atas tanggul P 75-67.
2. Kajian pembahasan hanya dilakukan berdasarkan aspek geofisika dan geologis dan tidak mengkaji teknik perencanaan pembuatan tanggul.

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui gambaran bawah permukaan tanggul LUSI berdasarkan nilai resistivitas.
2. Mengetahui gambaran dari tanggul lumpur Sidoarjo, dan juga struktur bawah permukaan-nya berdasarkan karakteristik dari gelombang elektromagnetik.
3. Mengidentifikasi zona rembesan pada tanggul area penelitian.

## **1.5 Manfaat**

Manfaat penelitian ini adalah memberi informasi mengenai penggunaan metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) dan metode *Ground Penetrating Radar* dalam mengidentifikasi rembesan pada tanggul.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional Kabupaten Sidoarjo**

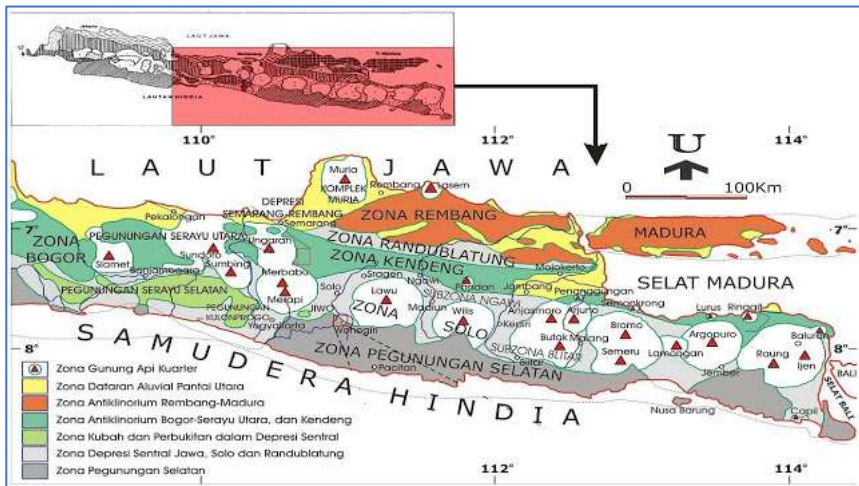
Menurut van Bemmelen (1949) berdasarkan morfologi dan tektoniknya Jawa Tengah-Jawa Timur dibagi menjadi zona – zona sebagai berikut:

1. Zona Dataran Aluvial Pantai Utara Jawa  
Zona Dataran Aluvial Pantai Utara Jawa bagian barat membentang dari sekitar Teluk Bantam sampai ke Cirebon dan di Jawa Tengah membentang dari timur Cirebon sampai ke Pekalongan.
2. Zona Depresi Semarang – Rembang  
Depresi Semarang – Rembang merupakan dataran yang berada diantara Semarang dan Rembang.
3. Zona Rembang  
Zona Rembang di bagian utara dibatasi oleh Paparan Laut Jawa Utara kearah selatan berhubungan dengan Depresi Randublatung yang dibatasi oleh Sesar Kujung, kearah barat berhubungan dengan Depresi Semarang – Pati, dan kearah timur berhubungan dengan bagian utara Pulau Madura. Zona ini merupakan daerah dataran yang berundulasi dengan jajaran perbukitan yang berarah barat-timur dan berselingan dengan dataran fluvial. Lebar zona ini berkisar 50 km dengan puncak tertinggi Gading (515 m) dan Tungkungan (419 m) dengan litologi karbonat yang mendominasi zona ini.  
Jalur dari Zona Rembang ini terdiri dari pegunungan lipatan berbentuk Antiklinorium yang memanjang ke arah barat-timur dari Purwodadi, Blora, Jatirogo, Tuban, sampai dengan Pulau Madura.
4. Zona Depresi Randublatung  
Zona Randublatung merupakan daerah lembah dengan bagian tengah memanjang barat – timur. Zona ini memisahkan Zona Kendeng dan Zona Rembang.
5. Zona Kendeng  
Bagian barat, antara Ungaran dan Purwodadi. Bagian bawah tersusun oleh Formasi Pelang merupakan batuan yang berumur Oligosen – Miosen, sedangkan bagian atas tersusun atas sedimen dari Formasi Pucangan. Bagian tengah, antara Purwodadi dan Gunung Pandan. Bagian bawah tersusun atas endapan berumur Miosen Formasi Kerek, pada bagian ini struktur sesar dan lipatan banyak dijumpai. Bagian atas didominasi oleh material gunung api Formasi Kerek Anggota Sentul. Bagian timur, memperlihatkan umur Neogen, pada inti antiklinorium yang terlihat antara G. Pandan menuju ke arah timur sumbu antiklinorium semakin turun, sedimen yang muncul berumur Pliosen – Plistosen.
6. Zona Depresi Tengah/Zona Solo

Zona Solo tersusun oleh endapan Kuarter dan ditempati oleh Gunungapi Kuarter. Zona Solo dibedakan menjadi 3 sub-zona, yaitu Sub - Zona Blitar, Sub - Zona Solo, dan Sub - Zona Ngawi.

7. Zona Pegunungan Selatan

Zona Pegunungan Selatan Jawa terbentang dari wilayah Jawa Tengah yang berada di selatan Yogyakarta dengan lebar kurang lebih 55 km. Zona ini membentang hingga Jawa Timur dengan lebar kurang lebih 25 km yang berada di selatan Blitar. Zona Pegunungan Selatan dipisahkan menjadi 3 sub - Zona, yaitu Sub-Zona Baturagung, Sub-Zona Wonosari, dan Sub-Zona Gunung Sewu.

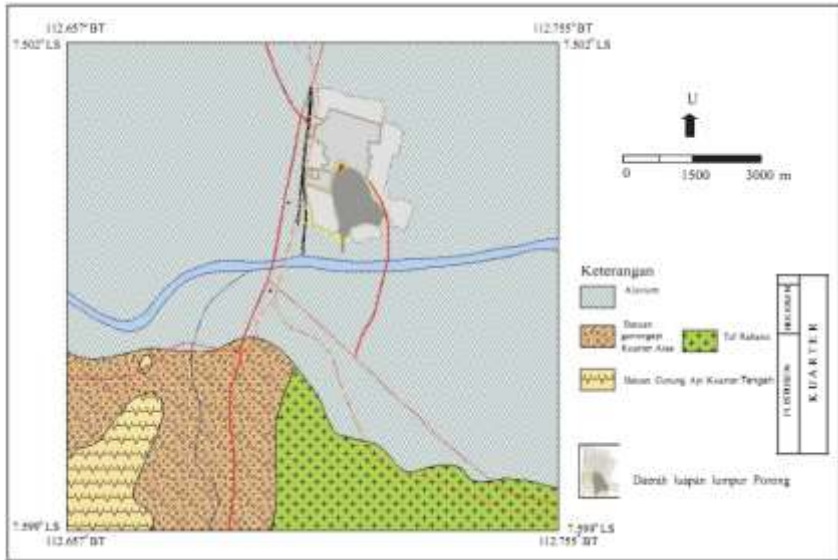


Gambar 2.1 Peta fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur (Van Bemmelen, 1949, dalam Hartono 2010)

Berdasarkan zona pembagian fisiografi, maka daerah penelitian secara regional masuk kedalam Zona Kendeng

**2.2 Stratigrafi Regional**

Stratigrafi regional daerah penyelidikan merujuk pada peta geologi Lembar Malang, Jawa yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Santosa dan Suwarti 1992). Kondisi morfologi dan geologi daerah penelitian dan sekitarnya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.2 Peta geologi sekitar semburan lumpur Sidoarjo (Santosa dan Suwarti, 1992; BPLS, 2006)

**Alluvium**

Endapan aluvium terdiri atas kerakal-kerikil, pasir, lempung, dan lumpur yang merupakan endapan sungai dan endapan pantai. Endapan sungai terlampar sepanjang daerah aliran Sungai Porong, Alo, dan Rejasa. Endapan pantai terlampar sepanjang pantai Selat Madura, yang sebagian besar berupa pasir kasar - halus dan lepas, setempat banyak tercampur pecahan cangkang moluska atau kerang-kerangan dan koral.

**Batuan Gunung Api Kuartar Atas**

Satuan ini terdiri atas breksi gunung api, lava, tuf, breksi tufan, aglomerat, dan lahar. Breksi gunung api, berwarna kelabu, hitam dan coklat, berbutir lapili hingga bom, menyudut - membundar tanggung, bersusunan andesit - basal. Lava, kelabu tua, hitam, dan kehijauan, bersusunan andesit hingga basal, porfiri, fenokris terdiri atas felspar dan piroksin dengan massa dasar mikrolit, olivin, mineral bijih, dan kaca. Breksi tufan, kuning keruh, kelabu dan coklat, bersusunan andesit, berbutir pasir hingga bom, menyudut tanggung - membundar tanggung, berkomponen felspar, kaca gunung api, batuapung, pecahan andesit atau basal, tersebar merata. Aglomerat, coklat hingga kelabu tua, bersifat menengah hingga basa, berbutir lapili hingga bom, membundar tanggung, berkomponen andesit, basal, obsidian, batuapung, felspar, dan kaca gunung api.

## Tuf Rabano

Tuf pasiran, berwarna kuning keruh hingga coklat terang, berbutir pasir kasar hingga halus, setempat terdapat pecahan batuan berukuran kerakal yang tersebar tak merata, berkomponen mineral terang, andesit, kaca, dan pasir gunung api.

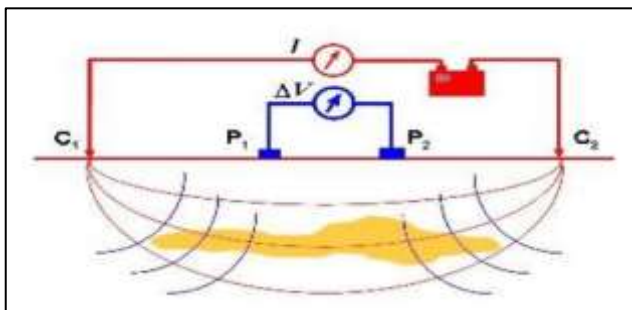
## Batuan Gunung Api Kuartir Tengah

Satuan batuan terdiri atas breksi gunung api, tuf, lava, aglomerat, dan lahar. Breksi gunung api, berwarna kelabu, hitam, dan coklat, menyudut - membundar tanggung, bersusunan andesit. Lava, kelabu gelap, hitam, dan kehijauan, bersusunan andesit hingga basal, porfiri, fenokris berupa felspar dan piroksen dengan massa dasar mikrolit, olivin, mineral bijih, dan kaca. Aglomerat dan lahar, coklat hingga kelabu gelap, bersifat menengah hingga basa, berbutir lapili hingga bom, membundar tanggung, berkomponen andesit, dan basal.

## 2.3 Metode Resistivitas

### 2.3.1 Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Cara kerja metode geolistrik secara sederhana dapat dianalogikan dengan rangkaian listrik. Jika arus dari suatu sumber dialirkan ke suatu beban listrik maka besarnya resistansi ( $\Omega$ ) dapat diperkirakan berdasarkan besarnya potensial sumber dan besarnya arus yang mengalir. Dalam hal ini besaran resistansi tidak dapat digunakan untuk memperkirakan jenis material di dalam tanah karena pengukuran dilakukan di permukaan bumi. Maka dari itu digunakan besaran resistivitas yang merupakan resistansi yang telah dinormalisasi terhadap geometri. Pada prakteknya pengukuran geolistrik dilakukan dengan mengalirkan arus ke dalam tanah melalui dua elektroda (C1 dan C2) dan responnya diukur melalui dua elektroda yang lain (P1 dan P2). (Kurnia et al. 2016)



Gambar 2.3 Gambaran umum cara kerja pengukuran geolistrik tahanan jenis (Kurnia et al. 2016)



Harga resistivitas yang didapatkan merupakan resistivitas semu. Persamaan resistivitas semu ( $\rho_\alpha$ ) sebagai berikut (Reynold 1997;Rochman, et al 2017)

$$\rho_\alpha = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

Dimana

$\rho_\alpha$  : resistivitas semu ( $\Omega.m$ )

K : faktor geometri

V : beda potensial (mV)

I : arus listrik (mA)

### ***2.3.2 Hubungan Geologi dengan Resistivitas***

Hasil pengukuran geolistrik untuk berbagai jenis batuan, tanah dan bahan lain terdapat pada distribusi resistivitas pada bawah permukaan. Untuk merubah gambaran resistivitas pada keadaan geologi, beberapa pengetahuan keadaan geologi dan jenis resistivitas dan keadaan geologi daerah sangat penting. Batuan beku and batuan malihan mempunyai nilai resistivitas tinggi. Nilai resistivitas ini tergantung pada derajat pelapukan, and persentasi rekahan yang terisi oleh air tanah. Batuan sedimen umumnya lebih lulus air and mempunyai kandungan air. . Umumnya batuan sedimen mempunyai resistivitas yang lebih rendah. Tanah basah dan air tanah segar mempunyai resistivitas rendah. Tanah lempungan mempunyai resistivitas rendah dari pada tanah pasir. Akan tetapi patut dicatat terdapat resistivitas yang tumpang tindih antara beberapa jenis batuan and tanah/soil. Hal ini dikarenakan resistivitas jenis batuan tertentu atau contoh tanah tergantung pada beberapa faktor antara lain porositas, tingkat kejenuhan air and konsentrasi garam terlarut.

Tabel 2.1 Resistivity dari jenis batuan, mineral and cairan kimia (Loke,M.H.,2000)

Material	Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )	Conductivity (Siemen/m)
<b>Igneous and Metamorphic Rocks</b>		
Granite	$5 \times 10^5 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
<b>Sedimentary Rocks</b>		
Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Limestone	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
<b>Soils and waters</b>		
Clay	1 - 100	0.01 - 1
Alluvium	10 - 800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Groundwater (fresh)	10 - 100	0.01 - 0.1
Sea water	0.2	5
<b>Chemicals</b>		
Iron	$9.074 \times 10^{-8}$	$1.102 \times 10^7$
0.01 M Potassium chloride	0.708	1.413
0.01 M Sodium chloride	0.843	1.185
0.01 M acetic acid	6.13	0.163
Xylene	$6.998 \times 10^{16}$	$1.429 \times 10^{-17}$

## 2.4 Inversi 2D Metode Resistivitas

Penampang 2D merupakan penampang untuk menggambarkan hasil survei secara 2D dengan metode *conturing pseudosection*. *Pseudosection* memberikan gambaran tentang distribusi nilai-nilai hasil pengukuran di lapangan yang dapat berupa resistivitas, *Percent Frequency Effect* ataupun *metal factor* di bawah permukaan bumi. Dalam hal ini posisi plotting point adalah titik tengah horizontal ditempatkan di tengah-tengah dalam susunan elektroda pengukuran, sedangkan titik lateral ditempatkan pada jarak yang proporsional di tengah-tengah dalam susunan elektroda pengukuran (antara elektroda C1-P1) pada arah vertikal ke bawah. *Pseudosection* dapat dibuat secara manual pada saat pengambilan data di lapangan dengan cara memplotkan nilai resistivitas semu yang terukur, kemudian dilakukan pengkonturan. Hal ini berfungsi sebagai gambaran awal hasil pengukuran dan pengontrol kualitas data hasil pengukuran di lapangan, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai panduan interpretasi kuantitatif lebih lanjut. *Pseudosection* dihasilkan dari proses pemodelan

forward maupun inversi, sehingga diperoleh nilai resistivitas yang sudah terkoreksi (*topographic effect*). Proses ini merupakan pendekatan terhadap nilai resistivitas yang sebenarnya. Kesalahan yang biasa dilakukan adalah mencoba menggunakan *pseudosection* resistivitas semu maupun sebagai gambaran akhir untuk tahap interpretasi.

Res2Dinv adalah program komputer yang secara otomatis menentukan model resistivitas 2 dimensi (2D) untuk bawah permukaan dari data hasil survei geolistrik. Program ini dapat digunakan untuk survei menggunakan konfigurasi *Wenner, pole-pole, dipole-dipole, pole-dipole, Schlumberger, WennerSchlumberger* dan *array dipole-dipole* ekuator. Selain survei normal yang dilakukan dengan elektroda-elektroda di permukaan tanah, program ini juga mendukung survei *underwater* dan *cross-borehole*. Pengerjaan dalam inverse modeling pada software Res2Dinv ini pada umumnya hanya dua, yaitu inversi secara otomatis dan menghilangkan efek yang jauh dari datum (titik-titik hasil pengukuran yang tidak sesuai).

Hasil inversi merupakan distribusi nilai resistivitas material bawah permukaan Bumi yang disebut Resistivity *pseudosection* atau inverse model resistivity section. Model yang diperoleh melalui proses inverse akan selalu memiliki nilai *Residual Error* atau *Root Mean Squared Error* (RMSE). Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai error yang ada. Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi matematis yang sama secara berulang-ulang untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Nilai RMSE berperan untuk memperlihatkan tingkat perbedaan dari pengukuran nilai resistivitas material terhadap nilai resistivitas material yang sebenarnya. Semakin besar nilai RMSE maka model yang diperoleh dari proses inversi akan semakin halus. Besar kecilnya nilai RMSE dipengaruhi oleh bentuk dan struktur bumi tempat elektroda dibenteng, misalnya adanya keberadaan gua di dalam tanah atau banyak akar pepohonan yang berada tepat di bawah bentangan (Loke, 1999).

Prinsip dari inversi *least square* merupakan proses regresi linier terhadap suatu variasi parameter terhadap parameter yang lain, dengan menentukan jumlah error kuadrat terkecil antara data yang teramati dengan model tebakan yang diberikan (Akmam et al, 2019). Untuk mendapatkan solusi terbaik, maka perlu ditambahkan sejumlah informasi tambahan atau yang dikenal dengan dengan “a priori information” yang selanjutnya digunakan untuk meng-constrain solusi sehingga diperoleh solusi yang dianggap paling tepat untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan (Supriyanto, 2007). Informasi awal bisa didapat dari data geologi setempat.

Fungsi obyektif yang sering digunakan dalam proses inversi data resistivitas 2D adalah:

$$E(m^{k+1}) = \|W_d(J\Delta m - d_{cal})\|^2 + \lambda \|Cm^{k+1}\|^2 \quad (2.2)$$

dengan  $m$  merupakan model resistivitas,  $C$  adalah matrik *smoothing*,  $d$  merupakan resistivitas semu perhitungan  $J$  adalah matrik Jacobian pemodelan ke depan dan  $k$  merupakan iterasi ke- $k$  (Sungkono, 2016). Untuk meminimumkan nilai error maka Persamaan (2.2) harus memenuhi syarat sebagai berikut:

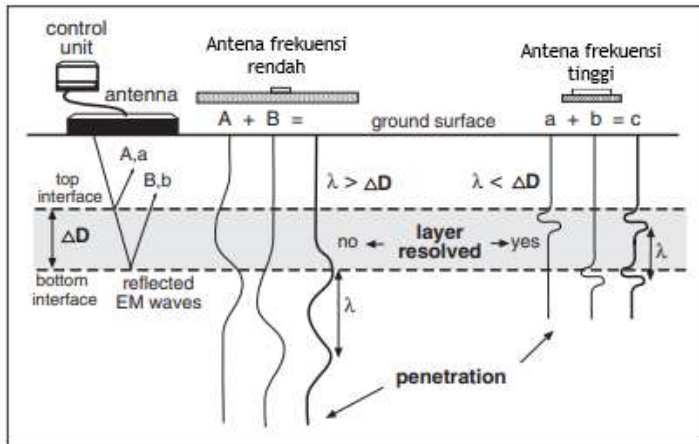
$$\frac{\partial E}{\partial m^{k+1}} = 0 \quad (2.3)$$

## 2.5 Metode GPR

### 2.5.1 Prinsip Dasar Metode GPR

Metode GPR merupakan teknik geofisika yang menggunakan gelombang radar untuk pencitraan bawah tanah. Awalnya tujuan digunakan metode GPR untuk investigasi bawah tanah dangkal geoteknik dan lingkungan, namun ternyata metode dengan resolusi tinggi ini mampu digunakan untuk mengetahui komposisi dan umur lapisan sedimen pada penelitian stratigrafi. GPR dinilai penting dalam mengidentifikasi berbagai varietas struktur geologi seperti fluvial (Leclerc dan Hickin 1997), *glaciofluvial* (Beres et al, 1995, 1999), periglacial (Jol et al, 1996; Busby dan Merrit 1999), eolian (Schenk et al 1993; Jol et al 1998), dan *lake deltas* (Jol dan Smith 1997).

Metode GPR memiliki banyak kemiripan dengan seismik refleksi profiling. Bedanya terdapat pada gelombang yang digunakan. Metode GPR menggunakan gelombang elektromagnetik (EM) sedangkan metode seismik refleksi menggunakan gelombang akustik. Gelombang EM yang digunakan pada metode GPR berada pada frekuensi 10-2300 MHZ. Prinsip gelombang EM diatur oleh hukum Maxwell, dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain konduktivitas dielektrik, permeabilitas magnetik, dan permitivitas dielektrik. Parameter konduktivitas dielektrik, permeabilitas magnetic berpengaruh pada atenuasi dan penetrasi kedalaman sinyal EM. Material yang memiliki konduktifitas tinggi mengakibatkan disipasi dan kehilangan sinyal. Pengaturan *gain control unit*, sensitifitas dan frekuensi antena GPR juga berpengaruh terhadap kedalaman penetrasi dan resolusi pada rekaman GPR.



Gambar 2.4 Diagram umum yang mendeskripsikan perbedaan pada penetrasi kedalaman dan resolusi yang dihasilkan ketika menggunakan antenna berfrekuensi rendah dan antenna berfrekuensi tinggi (Ilya et al., 2018)

Permittivitas dielektrik adalah kemampuan suatu material untuk mengalami polarisasi dan merespon gelombang EM (von Hippel 1954). Permittivitas dielektrik relative ( $\epsilon_r$ ) adalah sebuah konstanta yang didapat dari membandingkan permittivitas suatu material tertentu dengan permittivitas di kondisi ruang hampa.

Tabel 2.2 permitivitas dielektrik relative yang dijumpai umum

Material	$\epsilon_r$
Air	1
Ice	3-4
Freshwater	80
Seawater	81-87
Sand	
Unsaturated	3-7
Saturated	20-32
Unsaturated, with gravel	3.5-6.5
Saturated, with gravel	15.5-17.5
Silt	
Unsaturated	2.5-5.0
Saturated	20-30
Clay	
Unsaturated	2.5-5.0
Saturated	15-40
Bedrock	4-15

(Davis dan Annan 1989; Conyers dan Goodman 1997; van Heteren et al. 1998)

### 2.5.2 Gelombang Elektromagnet

Metode GPR didasarkan atas persamaan Maxwell yang merupakan perumusan matematis untuk hukum-hukum alam yang berkaitan dengan semua fenomena elektromagnet. Persamaan Maxwell untuk medium isotropik heterogen dirumuskan sebagai berikut:

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial D}{\partial t} + J \quad (2.4)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.5)$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0 \quad (2.6)$$

$$\nabla \times \vec{D} = 0 \quad (2.7)$$

Dimana makna simbol tersebut yaitu:

$\vec{E}$  = medan listrik (Volt/m)

$\vec{B}$  = medan magnetik (Weber/m<sup>2</sup> atau Tesla)

$\vec{H}$  = intensitas medan magnet (Ampere/m)

$\vec{J}$  = rapat arus listrik (Ampere/m<sup>2</sup>)

$\vec{D}$  = pergeseran listrik (Coulomb/ m<sup>2</sup> )

Hubungan antara besaran-besaran  $\vec{E}$  ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\vec{J}$ ,  $\vec{D}$  di atas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.8)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (2.9)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho} \quad (2.10)$$

dengan

$\mu$  = permeabilitas magnetik (Henry/m)

$\varepsilon$  = permitivitas listrik (Farad/m)

$\sigma$  = konduktivitas (mho/m)

$\rho$  = tahanan jenis (ohm.m)

Dengan menerapkan operasi curl pada persamaan Maxwell akan diperoleh:

$$\nabla \times \nabla \times E = -\nabla \times \left\{ \frac{\partial B}{\partial t} \right\} = -\nabla \times \left\{ \frac{\partial}{\partial t} (\mu H) \right\} \quad (2.11)$$

$$\nabla \times \nabla \times E = -\nabla \times \left\{ J + \frac{\partial D}{\partial t} \right\} = \nabla \times \left\{ \sigma E + \frac{\partial}{\partial t} (\mu H) \right\} \quad (2.12)$$

Dengan menggunakan persamaan Maxwell di atas, dapat diturunkan persamaan gelombang elektromagnetik sebagai berikut:

$$\left( \nabla^2 - \frac{\partial}{\partial t} \mu \left( \sigma + \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} \right) \right) \begin{bmatrix} E \\ H \end{bmatrix} = 0 \quad (2.13)$$

Kecepatan gelombang EM pada berbagai medium bergantung pada kecepatan cahaya, konstanta relatif dielektrik ( $\varepsilon_r$ ) dan permeabilitas magnetik ( $\mu_r = 1$ ) untuk materi non magnetik). Untuk selengkapnya bisa dilihat pada persamaan:

Kecepatan gelombang radio pada sebuah medium:

$$V_m = \frac{c}{[(\varepsilon_r \mu_r / 2)(1 + P^2) - 1]^{1/2}} \quad (2.14)$$

dimana:

$c$  = kecepatan cahaya

$\epsilon_r$  = konstanta relatif dielektrik

$\mu_r$  = permeabilitas relatif magnetik

$P$  = *loss factor*

Hubungan antara konstanta relatif dielektrik dan porositas adalah:

$$\epsilon = (1 - \emptyset)\epsilon_m + \emptyset\epsilon_w$$

dimana:

$\emptyset$  = porositas

$\epsilon_m$  = konstanta relatif dielektrik untuk matriks batuan

$\epsilon_w$  = konstanta relatif dielektrik untuk fluida.

## 2.6 GSSI SIR-20

Peralatan yang digunakan dalam pengukuran adalah GSSI SIR System-20, peralatan ini memiliki keunikan dibanding perangkat GPR lain yakni fitur antenna yang bisa diganti sesuai dengan kondisi geologi lapangan (GSSI, 2007). Antenna 3200MLF 80 MHz merupakan jenis antenna yang mempunyai panjang sekitar 120 cm. Besarnya sinyal yang dapat dimuat oleh antenna ini sekitar 12 ns. Antenna ini terdiri dari dua antenna sepanjang 60 cm pada masing-masing transmitter dan receiver. Ketika antenna dipasang sesuai dengan konfigurasi ini elemen transmitter dan receiver harus memiliki space 1 m, antenna ini baik digunakan pada waktu 400 ns (GSSI, 2007).



Gambar 2.5 GSSI SIR System-20



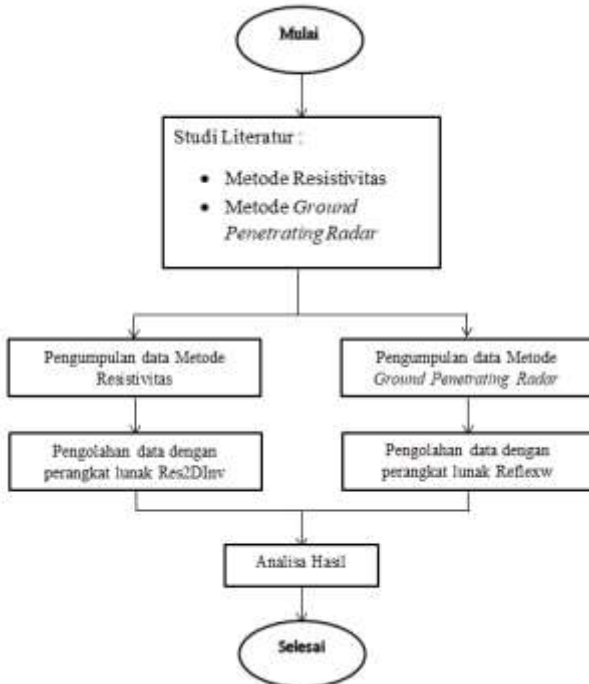
# BAB III METODE PENELITIAN

## 3.1 Perangkat dan Data

Perangkat lunak yang digunakan yaitu Reflexw dan Res2Dinv. Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan data pengukuran metode resistivitas dan GPR.

## 3.2 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi rembesan LUSI pada tanggul P 75-67 dengan metodologi disusun dalam diagram alir berikut ini:



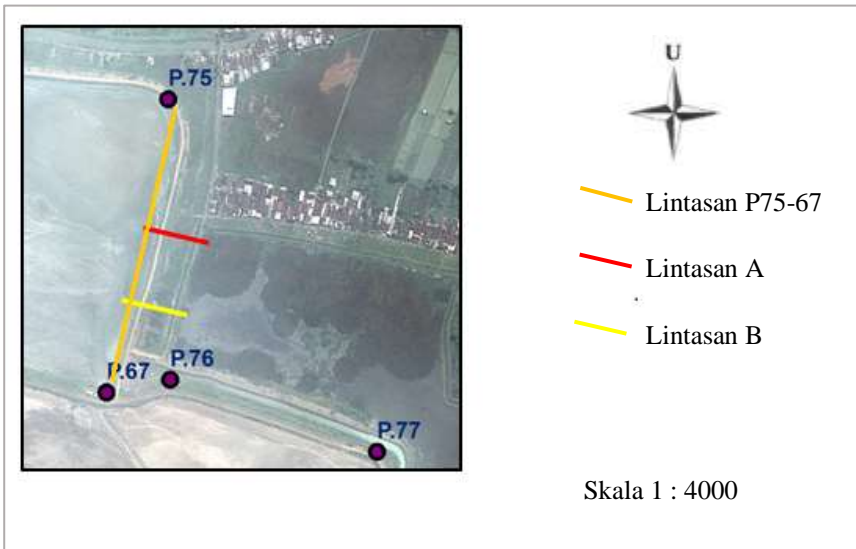
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami permasalahan dan latar belakang tanggul LUSI. Studi literatur juga dilakukan untuk memahami konsep dasar maupun lanjut metode resistivitas dan metode *Ground Penetrating Radar*. Sumber studi literatur penelitian ini berasal dari buku catatan, jurnal internasional yang terakreditasi, serta tesis dan disertasi yang berkaitan dengan LUSI.

### 3.4 Pengumpulan Data Metode Resistivitas dan *Ground Penetrating Radar*

Tahap pertama yang harus dilakukan ialah perancangan lintasan pengambilan data. Penelitian ini dilakukan diatas tanggul LUSI P75-67 yang pernah mengalami amblesan pada tahun 2018 dan rawan jebol. Metode yang digunakan ada dua untuk identifikasi rembesan LUSI yaitu metode resistivitas dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan *Ground Penetrating Radar*. Terdapat 3 lintasan yang digunakan bersama yaitu lintasan A, B dan lintasan memanjang P75-67. Lintasan A dan B merupakan lintasan yang memotong tanggul Kedungbendo masing-masing dibagi menjadi 2 segmen dikarenakan pengambilan data tidak dapat dilakukan diatas saluran irigasi Pologunting.



Gambar 3.2 Gambar lintasan pengukuran

### 3.5 Pengolahan Data Metode Resistivitas

Nilai resistivitas dari pengukuran bukan merupakan nilai resistivitas sebenarnya melainkan nilai resistivitas semu bawah permukaan. Untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya diperlukan proses inversi. Proses inversi penelitian ini menggunakan perangkat lunak Res2DInv. Res2DInv adalah sebuah program komputer secara otomatis menentukan model resistivitas 2-D bawah permukaan.

### 3.6 Pengolahan Data *Ground Penetrating Radar*

Pada penelitian ini pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yaitu Reflexw.

- ***Edit Marker***

Dalam proses ini data GPR akan disesuaikan/dicocokkan dengan kondisi sebenarnya, dimana pada awalnya data GPR yang diperoleh dari pengukuran merupakan data mentah yang masih memiliki banyak kesalahan dalam jarak maupun spasi antar marker. Inilah yang menyebabkan data harus dikoreksi dengan kondisi sebenarnya yaitu dengan cara melakukan *distance normalization* yang mana pada tahap ini perbedaan dalam kecepatan pengukuran akan dihilangkan dan disesuaikan dengan jarak *marker* sebenarnya.

- ***Filtering***

Dalam GPR *filtering* merupakan salah satu bagian terpenting. Mengingat pada saat pengambilan data lapangan tidak semua frekuensi yang tertangkap adalah frekuensi yang diharapkan, melainkan ada juga *filter* yang akan tertangkap. Sehingga diperlukan *Filtering* untuk menyaring *filter* dan meloloskan frekuensi sisanya. Sinyal GPR memiliki karakter yang berbeda dengan *filter* sehingga akan mudah untuk membedakan antara sinyal dan *filter*. Karakter dari sinyal GPR diantaranya yaitu memiliki kecepatan yang paling besar dibandingkan gelombang lain, amplitudo *relative* lebih besar, dan frekuensi yang juga *relative* lebih besar.

1. *Subtract mean dewow*  
*Filter* ini biasanya digunakan pada awal pengolahan data GPR, mengingat tujuan dari *filter* ini yaitu untuk menghilangkan *filter* yang memiliki frekuensi rendah.
2. *Background removal*  
*Filter* ini termasuk dalam *filter* 2D, ini disebabkan pada *filter* ini proses *pemfilteran* dapat dilakukan baik pada domain waktu

maupun kedalaman tertentu (pada *filter*), tanpa mempengaruhi sinyal yang diinginkan.

3. *FK filter*

*Filter* ini digunakan untuk menghilangkan *filter* koheren berupa *ground-roll*, gelombang langsung dan gelombang bias yang secara umum merupakan refleksi pertama dalam data ini.

4. *Bandpass filter*

Ini merupakan *filter* yang digunakan untuk menekan *filter* yang ada di luar spektrum frekuensi dari sinyal yang diinginkan.

• ***Deconvolution***

Proses ini digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi pengaruh *ground roll*, pemantulan ganda, *reverberation*, efek pemantulan permukaan serta memperbaiki wavelet yang kompleks yang diakibatkan oleh pengaruh *filter*. Proses ini merupakan penerapan dari invers *filter* karena konvolusi juga merupakan suatu *filter*.

• ***Migrasi***

Proses ini digunakan untuk memindahkan data GPR ke posisi yang benar secara horisontal maupun vertikal, ketidakpastian posisi ini disebabkan oleh efek difraksi yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik mengenai ujung/puncak dari suatu diskontinuitas akibat perbedaan struktur geologi seperti sesar atau lipatan (GSSI, 2001).

### **3.7 Analisa Hasil**

Setelah proses pengolahan data, pada tahap ini dilakukan analisa hasil yang diperoleh dari kedua metode tersebut

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisa Data Metode Resistivitas**

##### **4.1.1 Pengumpulan data lapangan**

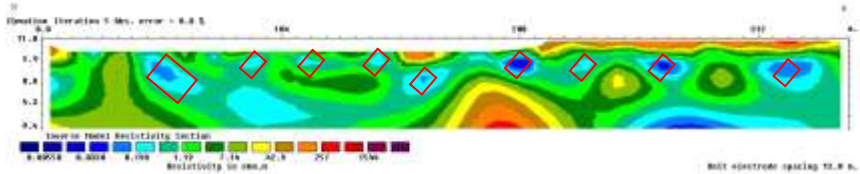
Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan pada tanggul Ptangbendo LUSI. Tanggul Ptangbendo dipilih karena tanggul tersebut sering mengalami amblesan. Metode resistivitas menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan tiga lintasan yaitu lintasan P76-65, lintasan A, dan lintasan B. Lintasan P76-65 melintang arah utara-selatan diatas tanggul Ptangbendo. Lintasan A dan B merupakan lintasan yang memotong tegak lurus lintasan P76-65 melintang arah timur-barat. Panjang lintasan P76-65, A dan B masing-masing sebesar 350m, 50m, 50m. Besarnya spasi ditentukan berdasarkan panjang lintasan dan jumlah elektroda. Spasi yang digunakan pada setiap lintasan berturut-turut adalah 13m, 1 m dan 1 m.

Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Res2DInv untuk mendapatkan tampilan 2 dimensi penampang resistivitas lapisan tanah bawah permukaan. Hasil tampilan dari perangkat lunak Res2DInv terdiri dari tiga bagian. Bagian pertama menunjukkan kontur resistivitas semu pengukuran (*measured apparent resistivity*) yang diperoleh dari data akuisisi data lapangan. Bagian kedua menunjukkan kontur resistivitas semu dari hasil perhitungan (*calculated apparent resistivity*). Untuk bagian ketiga menunjukkan kontur resistivitas sebenarnya yang diperoleh melalui proses inversi (*inverse model resistivity section*) (Telford et al, 1976).

*Inverse model resistivity section* pada bagian ketiga digunakan sebagai hasil pengolahan data resistivitas untuk melihat zona rembesan pada tanggul lumpur LUSI. Zona dengan nilai resistivitas rendah di dekat permukaan tanggul diduga merupakan zona rembesan lumpur sedangkan nilai resistivitas rendah di bawah lapisan tanggul diduga lapisan tanah setempat.

### 4.1.2 Lintasan P75-67

Lintasan P75-67 merupakan salah satu lintasan tanggul LUSI yang melintang arah utara-selatan. Tanggul ini didominasi oleh batuan kerikil dan pasir sehingga fluida dapat menerobos masuk ke dalam pori-pori tanggul.

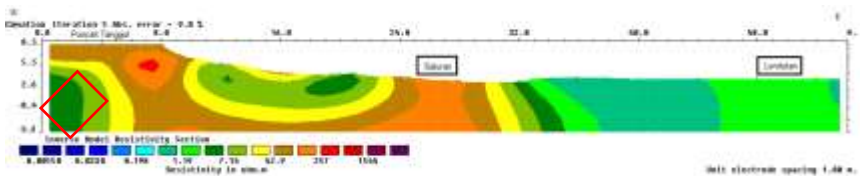


Gambar 4.1 Hasil pengolahan data resistivitas lintasan P75-67

Hasil pengamatan geolistrik antara lintasan P75-67 menunjukkan bahwa hampir seluruh bagian tanggul sudah tersaturasi air terutama pada area amblesan. Pada bagian yang ambles menunjukkan pergantian antara bagian yang basah dan lebih kering (warna biru dan hijau) yang menunjukkan bahwa rekahan yang terjadi telah terisi oleh air, rekahan tersebut teramati dari permukaan tanggul hingga kaki tanggul.

### 4.1.3 Lintasan A

Lintasan A memotong tanggul P75-67 melintang arah timur-barat. Lintasan A memotong di bagian Utara tanggul dan lintasan B di bagian Selatan tanggul. Masing-masing lintasan terdiri dari dua segmen dikarenakan pengambilan data tidak dapat dilakukan diatas saluran irigasi Pologunting

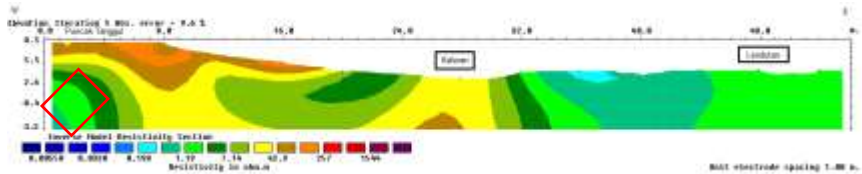


Gambar 4.2 Hasil pengolahan data resistivitas lintasan A

Tampak bahwa pada penampang geolistrik lintasan A menunjukkan bagian tubuh tanggul relatif sedikit tersaturasi air dari permukaan hingga kedalaman 3-5 m. Namun di sisi timur tampak adanya anomali resistivitas rendah yang merupakan lumpur muncul dari kedalaman dibawah tanah dasar (0 mdpl). Anomali ini teramati mulai di bawah aliran yang berada tepat di timur tanggul hingga muncul di permukaan 10 m dari aliran yang mengarah Utara-Selatan.

#### 4.1.4 Lintasan B

Lintasan B memotong tanggul P75-67 melintang arah timur-barat. Lintasan A memotong di bagian Utara tanggul dan lintasan B di bagian Selatan tanggul. Masing-masing lintasan terdiri dari dua segmen dikarenakan pengambilan data tidak dapat dilakukan diatas saluran irigasi Pologunting.



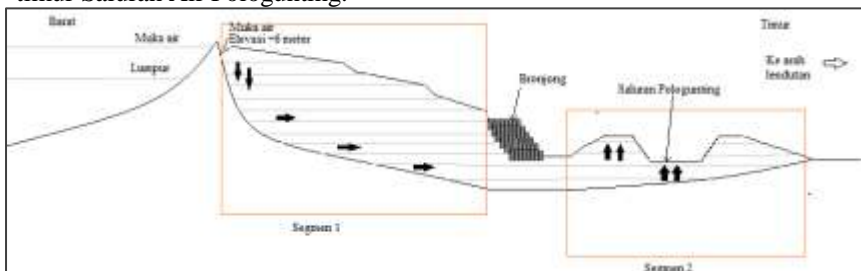
Gambar 4.3 Hasil pengolahan data resistivitas lintasan B

Penampang geolistrik lintasan B menunjukkan di sisi dalam tanggul sudah tampak adanya saturasi air. Ini dikarenakan bagian ini merupakan bagian yang mengalami penurunan paling tinggi sehingga lebih banyak saturasi air dari dalam. Area lendutan menunjukkan anomali resistivitas rendah (biru dan hijau muda) yang menunjukkan bahwa bagian bawah area ini cukup jenuh air.

### 4.2 Analisa Data Metode GPR

#### 4.2.1 Pengumpulan data lapangan

Setelah proses pengolahan data, pada tahap ini dilakukan analisa hasil yang diperoleh dari kedua metode tersebut. Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan pada tanggul Ptangbendo dengan tiga lintasan yaitu lintasan P76-65, lintasan A, dan lintasan B. Lintasan A dan B merupakan lintasan yang memotong tegak lurus lintasan P76-65 melintang arah timur-barat. Lintasan A dan lintasan B masing masing dibagi dua segmen karena kedua lintasan memotong Saluran Air Pologunting. Segmen 1 berada di puncak tanggul hingga bronjong. Segmen 2 berada di sebelah timur bronjong hingga sebelah timur Saluran Air Pologunting.



Gambar 4.4 Skema segmen 1 dan 2 pada lintasan A dan B

Pengambilan data ini tidak menggunakan metode *gridding*. Kondisi geologi tiap lintasan hampir sama berupa dominasi batuan kerikil dan pasir. Parameter lapangan yang digunakan antara lain frekuensi antenna sebesar 80 MHz dan spasi antara *transmitter* dan *receiver* sebesar satu meter. Langkah pengolahan data GPR adalah sebagai berikut:

#### 4.2.2 Lintasan P75-67

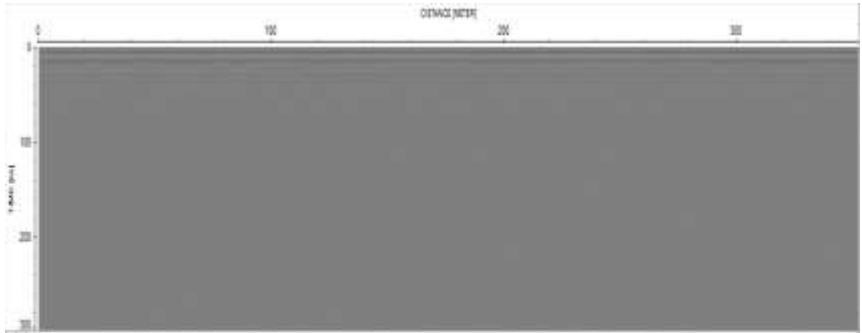
Langkah pertama yang dilakukan adalah edit *marker*, proses ini bertujuan untuk merubah jarak antar marker menjadi jarak sebenarnya. Dalam editing marker ini jarak spasi awal marker yang ditentukan adalah 5 meter namun pada data mentah yang didapat jarak ini masih salah karena jarak nya masih dihitung berdasarkan traces dan kecepatan alat berjalan saat proses akuisisi. Proses ini menggunakan *software* Radan7, hasil dari *editing marker* ini bisa dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Radargram hasil *editing marker*

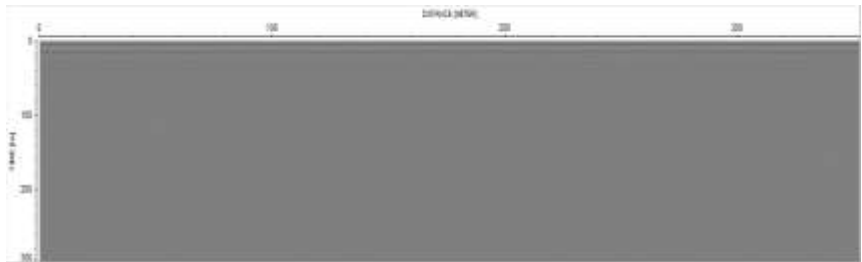
Langkah selanjutnya yaitu dilakukan *Remove DC* terhadap data. *DC Removal* berfungsi untuk mengembalikan sinyal ke titik tengah sehingga sinyal akan berbentuk sinusoidal secara sempurna. Pada gambar 4.6 dibawah hasil *remove DC* tidak mengalami perubahan besar. Ini menunjukkan sinyal sudah berada pada posisi yang tepat dan data dalam kondisi baik. Selanjutnya data diproses dengan *dewowing*.





Gambar 4.6 Radargram hasil *remove DC*

Proses *dewow* ini bertujuan untuk menghilangkan noise rendah pada data GPR. Setelah proses *dewow*, kemudian dilakukan proses *filtering bandpass* frekuensi. Proses ini terdiri dari *lowpass* dan *highpass filtering*. *Filtering* ini bertujuan menghilangkan *noise* pengukuran dengan menentukan batas terhadap frekuensi yang diinginkan. Pada pengolahan data lintasan P76-65, A, dan B diberikan batas frekuensi atas 45 MHz dan batas frekuensi bawah 150 MHz. Hasil dari *lowpass* dan *highpass filtering* bisa dilihat pada gambar 4.7. Setelah *filtering* reflector sudah mulai terlihat di radargram. Selanjutnya di lakukan Background Removal terhadap data, proses ini bertujuan untuk menghilangkan sinyal-sinyal datar/lurus yang diakibatkan oleh lingkungan. Hasil dari proses ini ditunjukkan oleh Gambar 4.8.

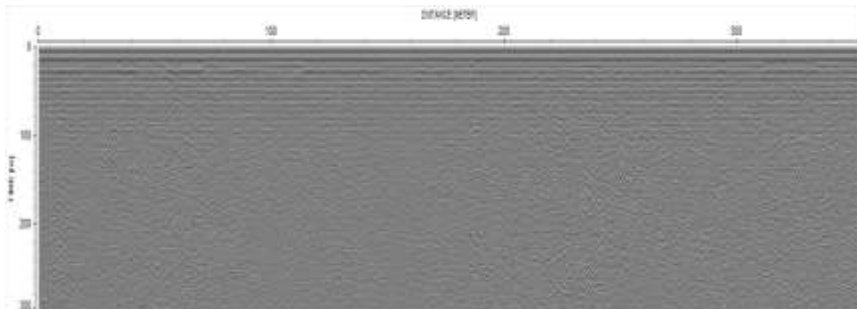


Gambar 4.7 Radargram hasil *lowpass* dan *highpass filtering*



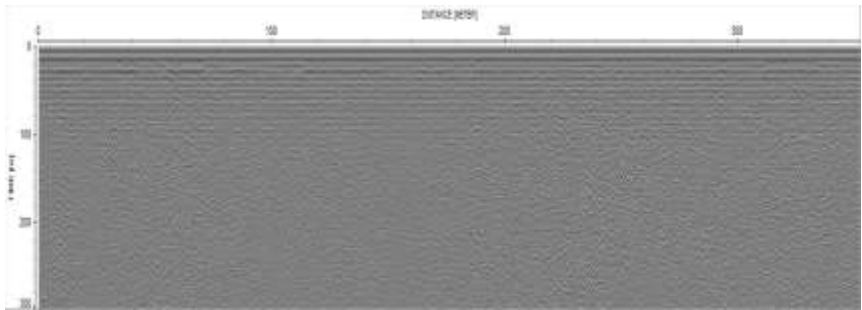
Gambar 4.8 Radargram hasil *background removal*

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan *filter lowpass* dan *highpass* kedua, langkah ini dilakukan untuk mendapat citra yang lebih baik lagi terhadap reflektor dan anomali. Nilai frekuensi yang digunakan untuk *lowpass* kedua yaitu 50 MHz dan untuk *highpass* kedua yaitu 125 MHz. Hasil dari *lowpass* kedua dan *highpass* kedua dapat dilihat dari Gambar 4.9.

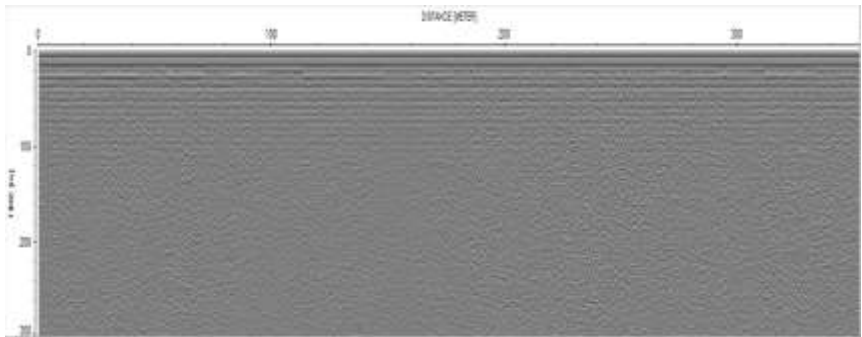


Gambar 4.9 Radargram hasil *lowpass* dan *highpass filtering* kedua

Untuk memperjelas kontras anomali maka dilakukan peningkatan *gain* pada data. *Gain* dilakukan dengan skala 1. Hasil dari peningkatan *gain* bisa dilihat pada gambar 4.10. Setelah dilakukan *gain*, kontras anomali data akan terlihat jelas namun *noise* yang ada di sepanjang lintasan juga ikut ter*gain*. Maka data akan di*filter* lagi menggunakan FK *Filter*. FK *Filter* bertujuan untuk menghilangkan noise koheren, atau *noise* yang muncul secara teratur dari *trace* ke *trace* (biasa disebut dengan *random noise*). Gambar 4.11 adalah hasil dari proses *filtering* menggunakan FK *Filter*.

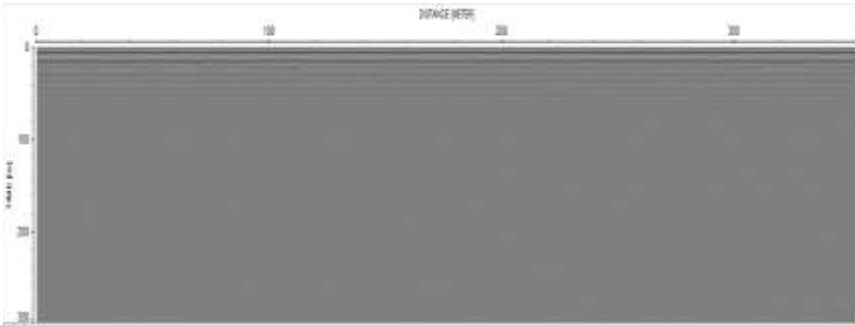


Gambar 4.10 Radargram hasil *gain*



Gambar 4.11 Radargram hasil FK *Filter*

Setelah difilter dengan FK *Filter*, data akan dikonvolusi. Proses *deconvolution* ini bertujuan untuk mengurangi dan menghilangkan pengaruh dari *ground roll*, pemantulan ganda, *reverberation* serta memperbaiki sinyal yang kompleks (saling menumpuk). Hasil dari proses *deconvolution* ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Radargram hasil *deconvolution*

Setelah data diproses *deconvolution*, data akan melalui proses migrasi. migrasi ini dilakukan untuk merubah posisi data pada koordinat sebenarnya baik secara vertikal maupun horizontal. Hasil dari migrasi bisa dilihat pada Gambar 4.13.

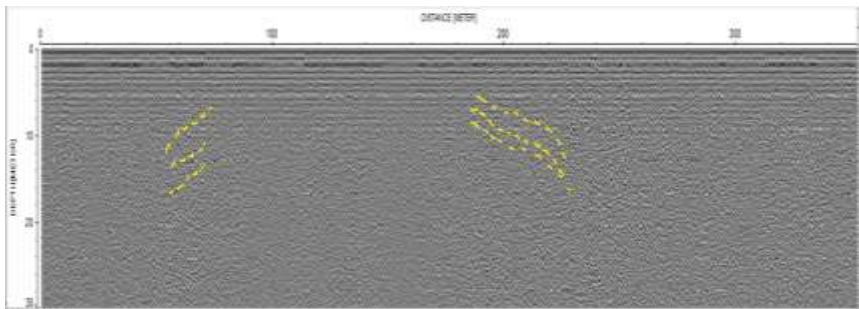
Langkah terakhir pengolahan data GPR yaitu mengkonversi domain waktu ke kedalaman. Tujuannya untuk mendapatkan kedalaman sebenarnya pada model penampang. Model kecepatan yang dimasukkan yaitu kecepatan konstan 0,1 m/ns mengingat kondisi geologi area penelitian dominasi krikil dan pasir dengan kecepatan gelombang pada zona tersebut sekitar 0.1 m/ns. Hasil konversi *time to depth* dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.13 Radargram hasil dari migrasi



Gambar 4.14 Radargram hasil dari konversi *time to depth*

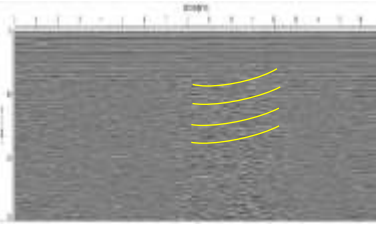


Gambar 4.14 Radargram hasil pengolahan data GPR lintasan P75-67

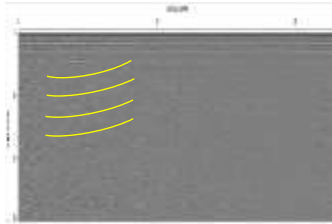
Gambar 4.4 penampang memanjang GPR antara P75 – P67 diatas menunjukkan adanya beberapa struktur rekahan vertikal yang memotong tanggul di kiri dan kanan pusat amblesan. Rekahan tersebut teramati dari permukaan hingga kedalaman 4 – 5 meter dari puncak tanggul dengan panjang segmen tanggul yang dijumpai rekahan kurang lebih 150 meter. Hasil pengamatan GPR juga menunjukkan bagian tanggul dekat permukaan mengalami saturasi air yang tinggi. Di tiga titik dengan area yang paling lebar di area pusat amblesan dengan lebar area yang tersaturasi sepanjang 40 m.

### 4.2.3 Lintasan A

a)



b)

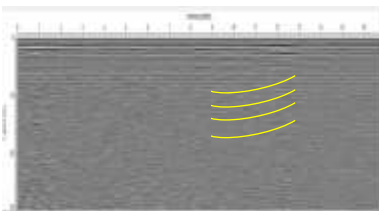


Gambar 4.15 Radargram hasil pengolahan data GPR lintasan A a) Segmen 1, b) Segmen 2

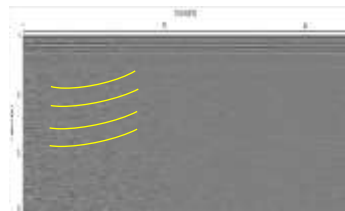
Hasil pengamatan GPR pada lintasan A segmen 1 diatas menunjukkan pada kedalaman 10 m tampak adanya pola struktur lapisan yang naik hingga kedalaman 7.5 m, kemudian juga teramati pada penampang lintasan A dan B segmen 2 juga menunjukkan adanya struktur lapisan yang naik dari kedalaman 7 m hingga ke permukaan. Normalnya zona pengendapan alluvial di sekitar tanggul mengalami pelapisan merata sehingga seharusnya tidak ditemukan struktur lapisan naik. Rembesan air lumpur diduga mengalir ke bawah menuju kearah lapisan Pologunting di sebelah timur tanggul yang permukaan airnya lebih rendah. Aliran lumpur ini mendorong dan menekan lapisan bawah permukaan Saluran Pologunting sehingga mengalami perubahan struktur. Profil melintang pada segmen 2 tersebut menunjukkan dasar saluran Pologunting dan sekitarnya yang terdorong keatas akibat tekanan.

### 4.2.4 Lintasan B

a)



b)



Gambar 4.16 Radargram hasil pengolahan data GPR lintasan B a)  
Segmen 1, b) Segmen 2

Hasil pengamatan GPR pada lintasan B juga mirip dengan lintasan A. Georadar segmen 1 diatas menunjukkan pada kedalaman 10 m tampak adanya pola struktur lapisan yang naik hingga kedalaman 7.5 m, kemudian juga teramati pada penampang lintasan A dan B segmen 2 juga menunjukkan adanya struktur lapisan yang naik dari kedalaman 7 m hingga ke permukaan. Normalnya zona pengendapan alluvial di sekitar tanggul mengalami pelapisan merata sehingga seharusnya tidak ditemukan struktur lapisan naik. Rembesan air lumpur diduga mengalir ke bawah menuju kearah lapisan Pologunting di sebelah timur tanggul yang permukaan airnya lebih rendah. Aliran lumpur ini mendorong dan menekan lapisan bawah permukaan Saluran Polugunting sehingga mengalami perubahan struktur. Profil melintang pada segmen 2 tersebut menunjukkan dasar saluran Pologunting dan sekitarnya yang terdorong keatas akibat tekanan.

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Identifikasi Zona Rembesan Tanggul LUSI Sidoarjo Menggunakan Metode Resistivitas dan *Ground Penetrating Radar*” maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil interpretasi data resistivitas didapatkan kemungkinan lokasi retakan yang dapat menyebabkan rembesan pada tanggul LUSI yaitu:
  - a. Tanggul Ptabendo lintasan P76-65  
Jarak = 45-70, 80-150, 160-175, 200-215, 230-240, 265-280, 310-340 meter  
Elevasi = -5 - 6, 3-6, 0-5, 0-6, 0-6, 0-6, -4 - 6 meter
  - b. Lintasan A  
Jarak = 0-20 meter  
Elevasi = -3 - 4 meter
  - c. Lintasan B  
Jarak = 0- 25 meter  
Elevasi = -3 - 4 meter
2. Dari hasil interpretasi data GPR didapatkan kemungkinan lokasi rekahan yang dapat menyebabkan rembesan pada tanggul LUSI yaitu:
  - a. Ditemukan rekahan naik vertikal pada sisi kanan dan kiri amblesan tanggul Ptabendo lintasan P76-65 pada jarak 50-200 meter kedalaman 5-30 meter
  - b. Zona kompaksi yang ada pada lintasan P76-65, A dan B mengalami perubahan menjadi kurang baik akibat rembesan air.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Identifikasi Zona Rembesan Tanggul LUSI Sidoarjo Menggunakan Metode Resistivitas dan *Ground Penetrating Radar*” maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu menggunakan spasi yang sama, sehingga dapat dilakukan perbandingan untuk hasil yang lebih akurat.



2. Perlu dilakukan *joint inversion*, sehingga interpretasi hasil menjadi lebih akurat.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

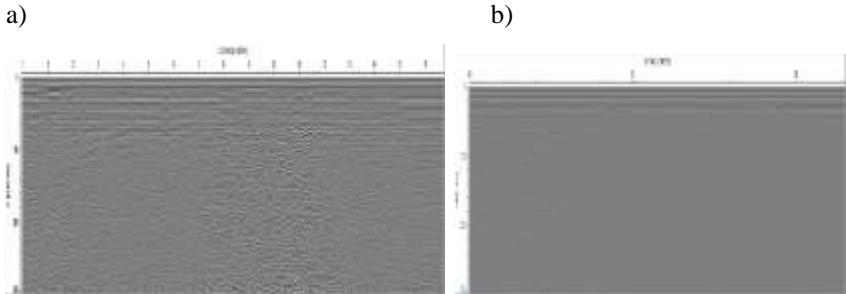
## DAFTAR PUSTAKA

- Akmam et al., (2019), “Implementation of least-square constrain inversion method of geoelectrical resistivity data Wenner-Schlumberger for investigation the characteristics of landslide”, J. Phys.: Conf. Ser. 1185 012013.
- Allen, R.L., (1979), *Studies in fluvial sedimentation: an elementary geometric model for the connectedness of avulsion-related channel sand bodies*, *Sedimentary Geology*, 24, h.253-267.
- Arwananda, A.P., Lestari, W., Rochman, J.P., Husein, A., (2016), “Efek Patahan Watukosek Pada Geomorfologi Kali Porong dengan Metode Tahanan Jenis 2-D”. *J. Geosaintek* 2, 151–156.
- A. Susilo, Sunaryo, (2018), “Inverstigation of Sidoarjo Mud Vulcano (“LUSI”) Impact on the Subsurface using Geomagnetic Method at Sidoarjo District, Indonesia”, *Disaster Advance, ResearchGate*, Vol.11 No.3 Maret 2018.
- BPLS, (2007). Peta Lokasi dan Lintasan Pendugaan GPR. Surabaya.
- Conyers L. B., Goodman D., (1997), “*Ground-Penetrating Radar An Introduction for Archaeologists*”, CA AltaMira Press, Walnut, Creek.
- GSSI, Radan Software, (2007), “*Geophysical Survey System Inc.*”, New Hampshire.
- Handoko et al., (2015), “*Physical Properties and Mineral Content of Sidoarjo Mud Vulcano*”, Elsevier, *Procedia Engineering* 324- 330.
- Ilya V. Buynevich, Duncan M., Fitzgerald, (2017), “*Ground Penetrating Radar*”, ResearchGate, Departmen of Earth and Enviromental Science, Temple University, Philadelphia, USA.
- Budiono K., Handoko, Hernawan U., Godwin, (2010). “Penafsiran Struktur Geologi Bawah Permukaan di Kawasan Semburan Lumpur Sidoarjo, Berdasarkan Penampang *Ground Penetrating Radar* (GPR)”, *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 5 No. 3 September 187-195.
- Magdy et al., (2008), “*Landmine detection using integration of GPR and magnetic survey*”, The 7th IARP International WS HUDEM'2008, AUC, Cairo.
- Rochman, Juan Pandu Gya Nur & Widodo, Amien & Syaifuddin, Firman & Lestari, Wien, (2017), “Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis

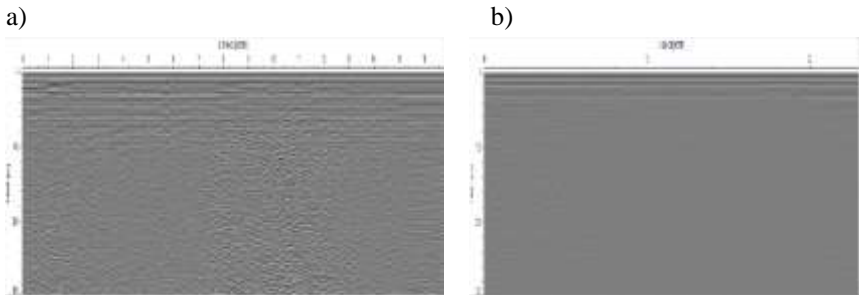
- untuk Mengetahui Bawah Permukaan di Komplek Candi Belahan (Candi Gapura)”, *Jurnal Geosaintek*, 3, 93-98.
- Reynolds, J. M., (1997), “*An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*”, John Wiley and Sons Ltd. Baffins, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England.
- Sungkono, (2016), “Pengembangan Metode Analisa data VLF-EM, Dispersi Gelombang Rayleigh dan Resistivitas untuk Menilai Kestabilan Tanggul LUSI”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Supriyanto, E., (2007), “Analisa Data Geofisika : Memahami Teori Inversi”, Diktat Jurusan Fisika Komputasi, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sylwia T.S., “2019”, “*Ground Penetrating Radar in Use of Flood Prevention . Acta Geophysics*”, Springer.

# LAMPIRAN A

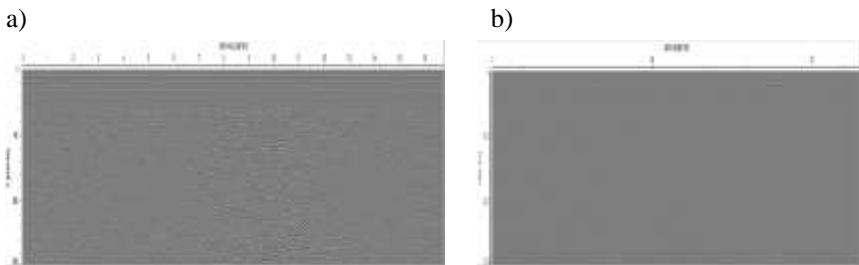
## Hasil Pengolahan Data GPR Pada Lintasan A menggunakan software Reflexw



Gambar A.1 Data awal setelah edit *marker* a) segmen 1, b) segmen 2

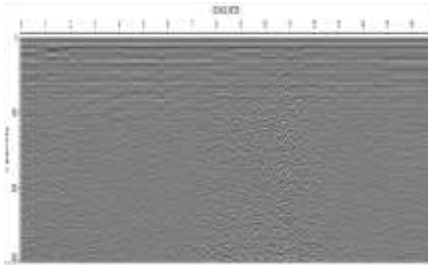


Gambar A.2 Remove DC a) segmen 1, b) segmen 2



Gambar A.3 Setelah proses *dewowing* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

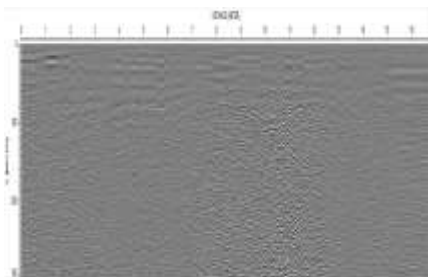


b)



Gambar A.4 Setelah proses *bandpass filter* pertama a) segmen 1, b) segmen 2

a)

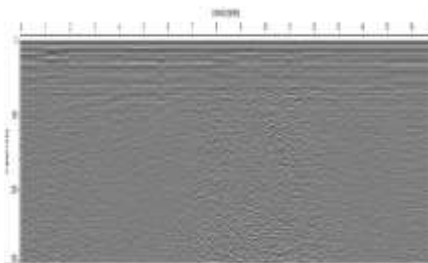


b)



Gambar A.5 Setelah proses *background removal* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

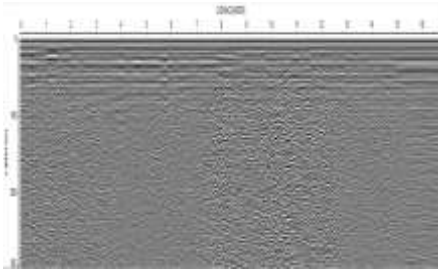


b)

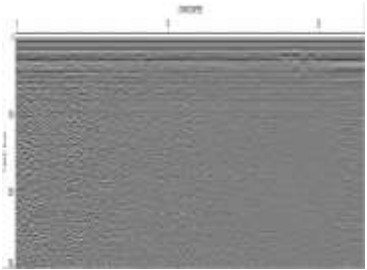


Gambar A.6 Setelah proses *bandpass filter* kedua a) segmen 1, b) segmen 2

a)

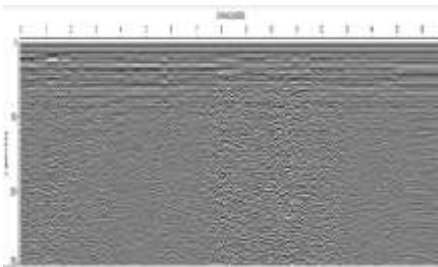


b)

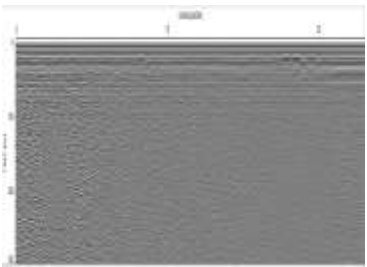


Gambar A.7 Setelah proses *inverse amplitude decay* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

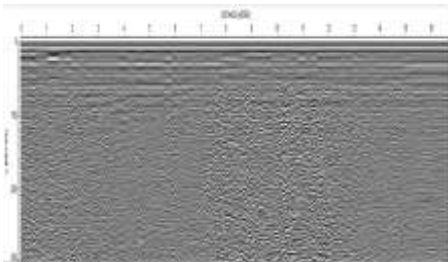


b)

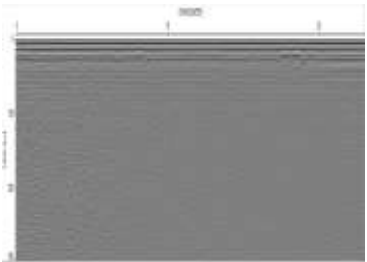


Gambar A.8 *FK filter* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

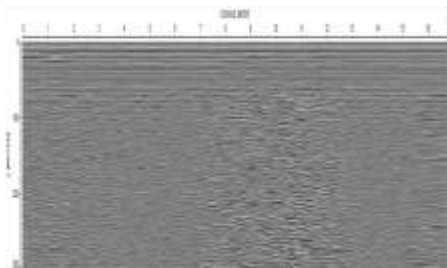


b)



Gambar A.9 *Deconvolution* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

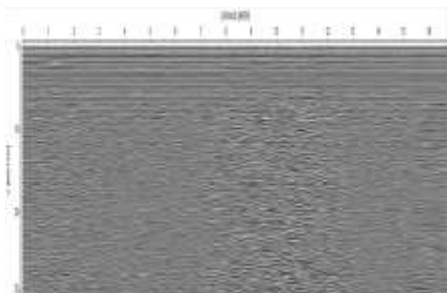


b)

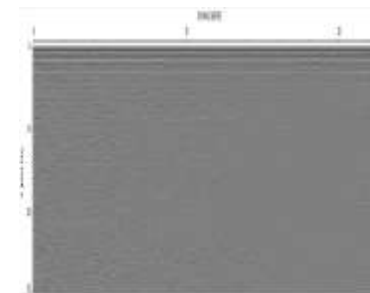


Gambar A.10 Setelah proses migrasi a) segmen 1, b) segmen 2

a)



b)

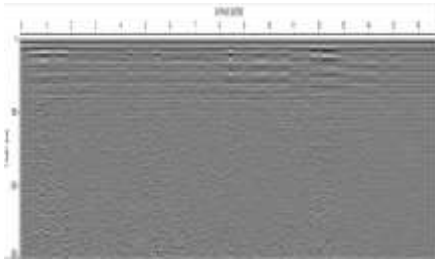


Gambar A.11 Setelah proses konversi *time to depth* a) segmen 1, b) segmen 2

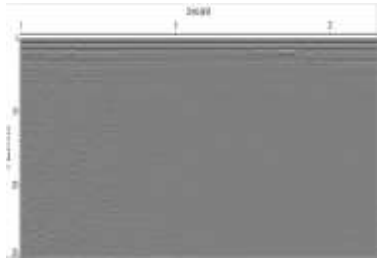


**LAMPIRAN B**  
**Hasil Pengolahan Data GPR Pada Lintasan B menggunakan**  
***software Reflexw***

a)

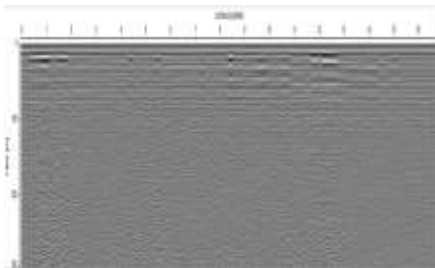


b)



Gambar B.1 Data awal setelah edit *marker* a) segmen 1, b) segmen 2

a)



b)



Gambar B.2 Remove DC a) segmen 1, b) segmen 2

a)

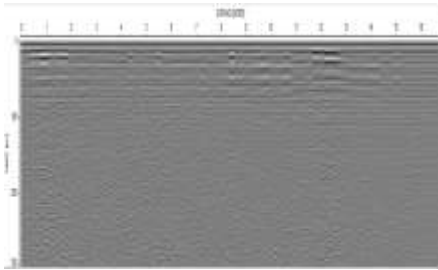


b)

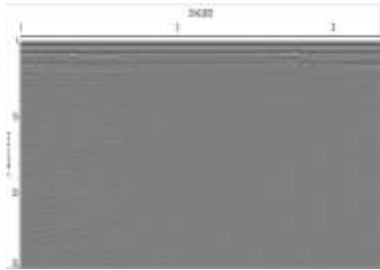


Gambar B.3 Setelah proses *dewowing* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

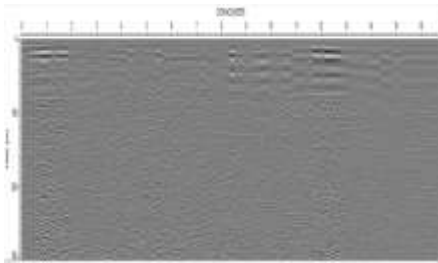


b)



Gambar B.4 Setelah proses *bandpass filter* pertama a) segmen 1, b) segmen 2

a)

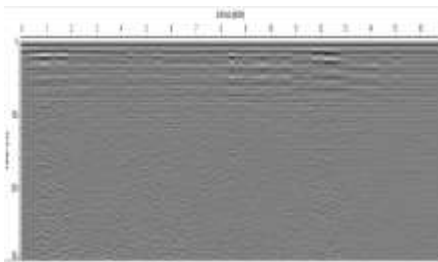


b)



Gambar B.5 Setelah proses *background removal* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

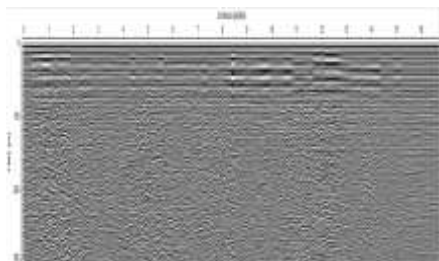


b)

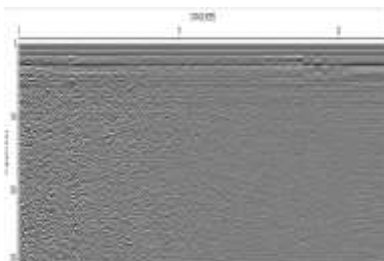


Gambar B.6 Setelah proses *bandpass filter* kedua a) segmen 1, b) segmen 2

a)

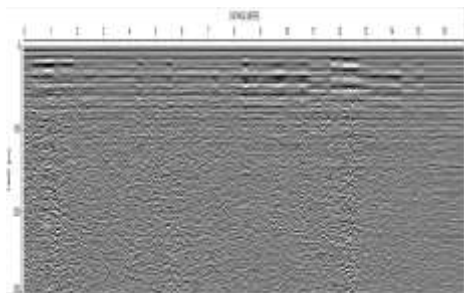


b)

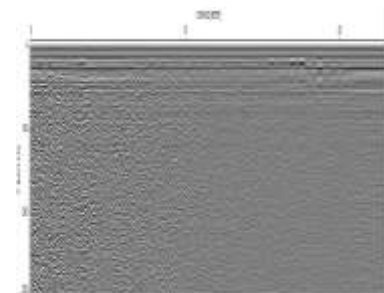


Gambar B.7 Setelah proses *inverse amplitude decay* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

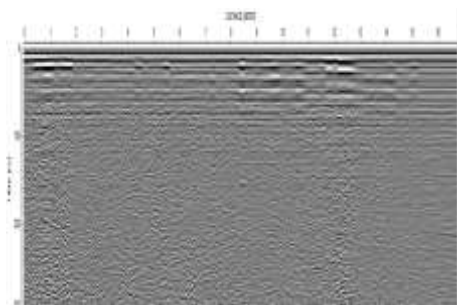


b)

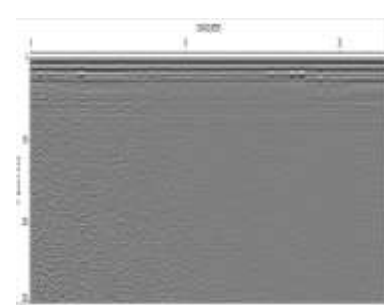


Gambar B.8 *FK filter* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

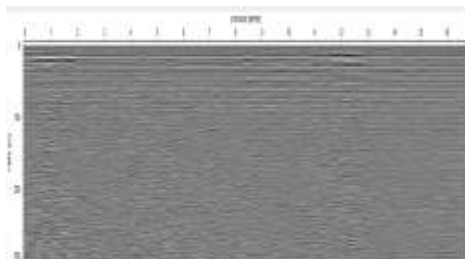


b)



Gambar B.9 *Deconvolution* a) segmen 1, b) segmen 2

a)

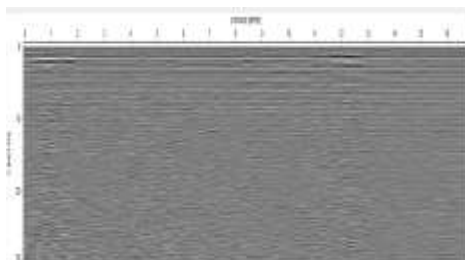


b)



Gambar B.10 Setelah proses migrasi a) segmen 1, b) segmen 2

a)



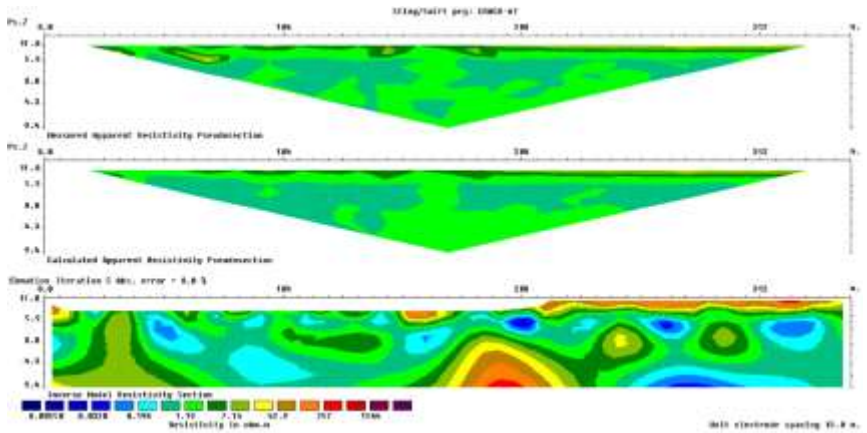
b)



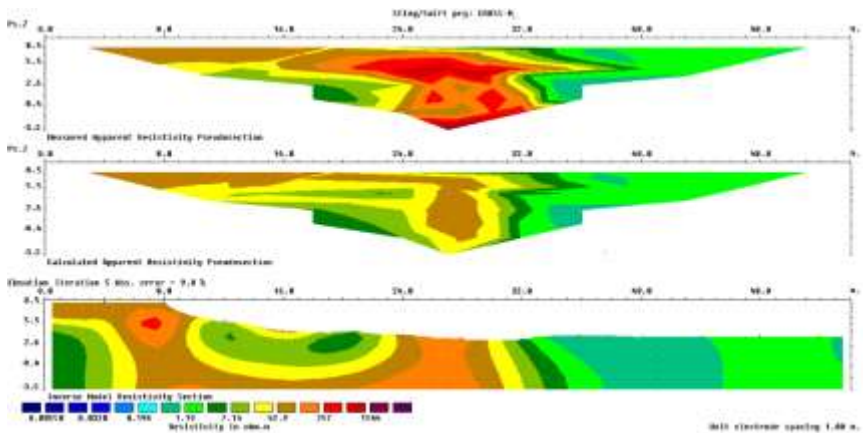
Gambar B.11 Setelah proses konversi *time to depth* a) segmen 1, b) segmen 2

## LAMPIRAN C

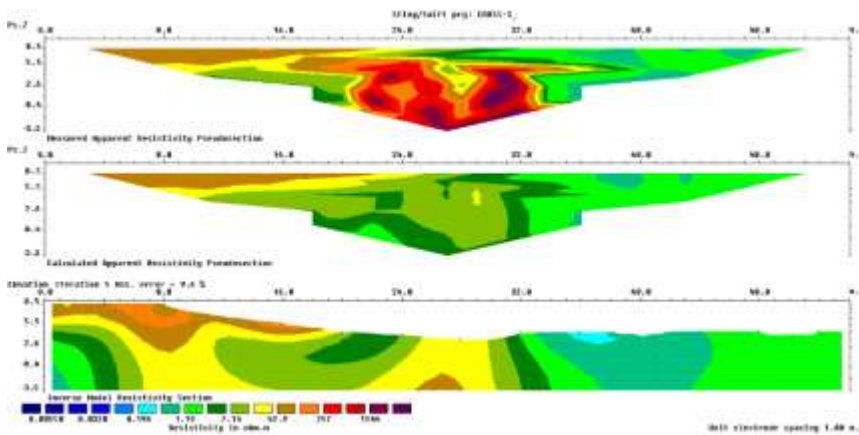
### Hasil Pengolahan data resistivitas menggunakan *software* Res2DInv



Gambar C.1 Resistivitas 2D hasil inversi data resistivitas pada lintasan P75-67



Gambar C.2 Resistivitas 2D hasil inversi data resistivitas pada lintasan A



Gambar C.3 Resistivitas 2D hasil inversi data resistivitas pada lintasan B

## Biografi Penulis



Nurachim dilahirkan di Banyuwangi 2 April 1997 dari pasangan Bapak Dardiri dan Ibu Lilik. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di TK Darul Falah (2002-2003), kemudian dilanjutkan di SD Mojopanggung hingga tahun 2009. Pada tahun 2009 sampai 2012 melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Banyuwangi. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMAN 1 Glagah. Setelah lulus SMA pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menjadi mahasiswa di ITS, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, diantaranya menjadi staf Keprofesian dan Keilmiah HMGI Regional IV 2017-2019, anggota Exploration Geophysicists Institut Teknologi Sepuluh Nopember Student Chapter (SEG ITS SC) periode 2015-2019. Selain itu, penulis juga beberapa kali menjadi panitia, seperti Ketua Pelaksana Semester Break 2018 dan 2019, Ketua Perlengkapan dan Koordinasi Semester Break HMGI Wilayah 4 (2017). Penulis memiliki pengalaman menjadi pengisi materi pada saat acara Kelas HMGI Goes to School Madura. Jika ingin berdiskusi lebih jauh mengenai tugas akhir penulis, dapat menghubungi: [mnurahim@gmail.com](mailto:mnurahim@gmail.com)