



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISA KONDISI BAWAH PERMUKAAN
TANGGUL LUMPUR SIDOARJO
MENGUNAKAN METODE *GROUND
PENETRATING RADAR (GPR)* PADA TITIK
P76-77, P78-79, P79-83**

**M SYAIFUDIN KAFI
NRP.1111 100 069**

**Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Rer Nat Bagus Jaya Santosa SU**

**Dosen Pembimbing II
Firman Syaifudin MT**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT - SF 141501

***SUBSURFACE CONDITION ANALYSIS OF MUD
EMBANKMENT SIDOARJO USING GROUND
PENETRATING RADAR (GPR) METHOD AT
POINT P76-77, P78-79, AND P79-83***

**M SYAIFUDIN KAFI
NRP.1111 100 069**

**Advisor I
Prof. Dr. Rer Nat Bagus Jaya Santosa SU**

**Advisor II
Firman Syaifudin MT**

**PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016**

**ANALISA KONDISI BAWAH PERMUKAAN TANGGUL
LUMPUR SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE
GROUND PENETRATING RADAR (GPR) PADA TITIK
P76-77, P78-79, P79-83**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Bidang Studi Kebumihan
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh :
M SYAIFUDIN KAFI
NRP. 1111 100 069

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Dr. Rer Nat Bagus Jaya Santosa SU (.....)
NIP : 19620802 198701 1001

Firman Syaifudin MT (.....)
NIP : 19840911201404 1001



**ANALISA KONDISI BAWAH PERMUKAAN
TANGGUL LUMPUR SIDOARJO MENGGUNAKAN
METODE *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)
PADA TITIK P76-77, P78-79, P79-83**

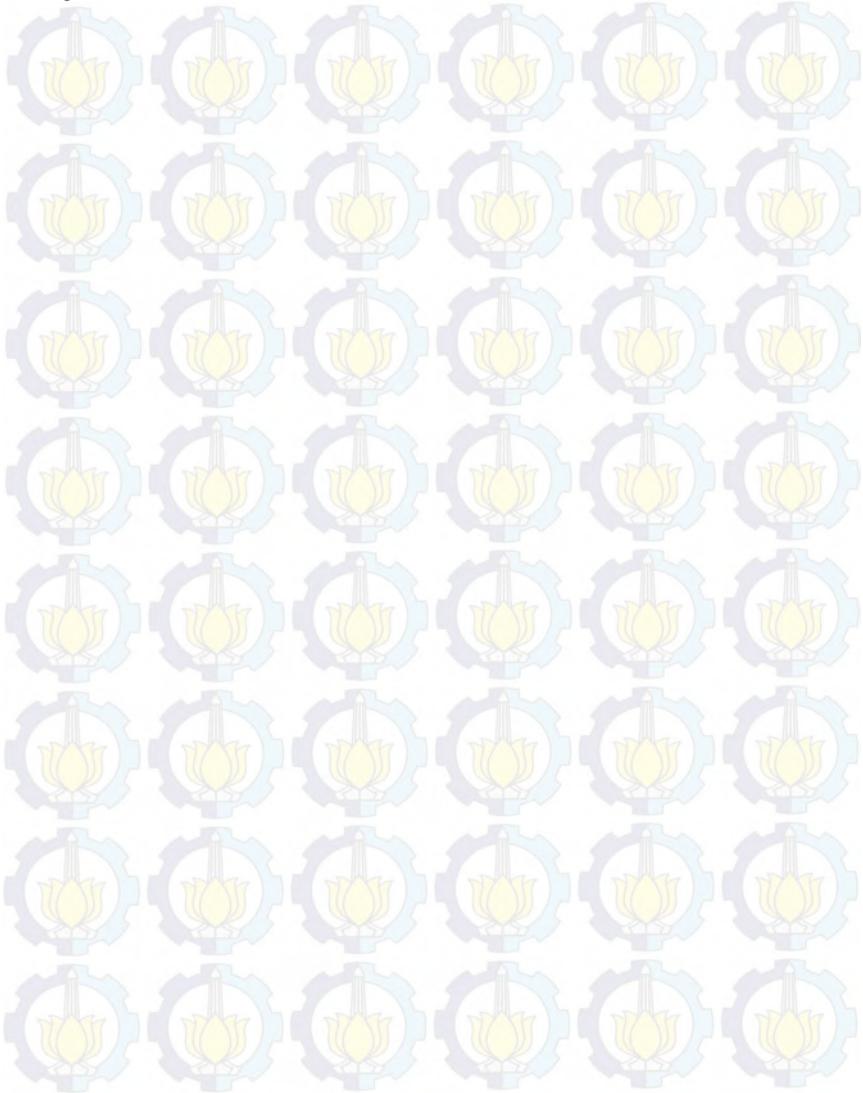
Nama : M Syaifudin Kafi
NRP : 1111100069
Pembimbing I : Prof. Dr. Rer Nat Bagus Jaya Santosa SU
Pembimbing II : Firman Syaifudin MT

Abstrak

Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR)/ Georadar telah digunakan di berbagai penelitian untuk mengetahui kondisi bawah permukaan yang dangkal. Pada kasus lumpur Sidoarjo metode GPR juga telah beberapa kali digunakan pada titik-titik tertentu untuk mengetahui kondisi tanggul. Dalam penelitian ini dilakukan tiga kali pengukuran. Pengukuran yang dilakukan berada pada lintasan 1(p76-77), lintasan 2(p78-79) dan lintasan 3(p79-83). Penelitian ini menggunakan antena yang memiliki frekuensi 80 MHz, pengolahan data menggunakan dua perangkat lunak yaitu RADAN 6 dan MATGPR R3. Data yang diperoleh akan dikonversi untuk mendapatkan nilai kedalaman dimana konstanta kecepatan yang dipakai berasal dari material pasir yang sesuai dengan karakteristik tanggul yaitu sebesar 0.1 m/ns. Dari konversi kedalaman didapat nilai bahwa masing-masing lintasan memiliki kedalaman sekitar 25 m yang mampu dicapai oleh GPR. Selain itu juga didapat bahwa pada masing-masing lintasan *anomaly* yang terjadi pada tanggul berada pada kedalaman sekitar 0-10 m. Jenis *anomaly* yang terjadi juga di interpretasikan sebagai rembesan air jika dilihat pada kondisi geologis lokasi pengukuran. Hasil lain yang didapat yaitu zona kompaksi masing-masing lintasan masih cukup bagus kecuali untuk lintasan kedua yang sudah mengalami perubahan.

Kata kunci: *GPR, Tanggul Lumpur Sidoarjo, MATGPR, RADAN*

6



**SUBSURFACE CONDITION ANALYSIS OF MUD
EMBANKMENT SIDOARJO USING GPR METHOD AT
POINT P76-77, P78-79, AND P79-83**

Name : M Syaifudin Kafi
NRP : 1111100069
Advisor I : Prof. Dr. Rer Nat Bagus Jaya Santosa SU
Advisor II : Firman Syaifudin MT

Abstract

Methods Ground Penetrating Radar (GPR) / georadar has been used in various studies to determine the condition of the shallow subsurface. In the case of the Sidoarjo mud GPR method has also been used several times at certain points to determine the condition of the embankment. in this study conducted three times measurements. Measurements were performed on a track 1 (p76-77), track 2 (p78-79) and track 3 (p79-83). This study uses the antenna has a frequency of 80 MHz, where processing the data using two software namely Radan 6 and MATGPR R3. The data obtained also performed the conversion to get the depth value used where a constant speed is derived from sand material in accordance with the characteristics of the dike that is equal to 0.1 m / ns. Obtained from the depth conversion value that each track has a depth of about 25 m that can be achieved by GPR. In addition, from the research also found that in each trajectory anomaly that occurs in dikes are at a depth of about 0-10 m. type of anomaly that occurs is also interpreted as the seepage of water when viewed on condition geogis measurement locations. Another result obtained is compaction zone of each track is still pretty good except for the second trajectory has changed.

Keywords: Dike of Lumpur Sidoarjo, GPR, MATGPR, RADAN 6

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohiim

Puji syukur kehadiran Allah swt Yang Maha Penyayang karena atas ijin, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Kondisi Bawah Permukaan Tanggul Lumpur Sidoarjo Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* Pada Titik P76-77, P78-79, P79-83**”. Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi Strata – 1 di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Berbagai daya, upaya dan perjuangan turut mewarnai dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Akhirnya dengan segala semangat yang dimiliki dan dukungan dari berbagai pihak maka tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu yang telah mendidik, memberikan dorongan mental dan materiil serta doa dengan penuh kesabaran dan keikhlasan tanpa kenal bosan selama ini.
2. Saudara-saudara tercinta Mas Ainul, Mas Dhoni, Mas Mufid, dan Adek Tutus yang selalu memberikan dukungan dan semangat terhadap penulis.
3. Bapak Prof. Bagus Jaya Santosa SU. Dan Bapak Firman Syaifuddin MT selaku dosen pembimbing yang telah mencurahkan tenaga, pikiran dan materi dengan sabar untuk membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono selaku ketua jurusan Fisika ITS.
5. Mas Sungkono yang selalu memberi petunjuk bagi penulis dan teman-teman di Lab Geofisika ITS.
6. Mas Alwi Husein yang dengan sabar mendampingi dan memberi materi penulis dalam pengambilan data Tugas Akhir ini.

7. Keluarga Besar Lab Geofisika ITS Lt4: Pak Kis (Sang Pencerah), Jordan, Nanang, Dharma, Mas Arya, Wisnu, Wildhan, Dodot, Asdi dan teman-teman lainnya yang tumbuh di lab.
8. Adinda Tri Wahyuni yang selalu memberi semangat dan dukungan serta membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Dodik Sujiwo dan Deni yang selalu menjadi inspirasi bagi penulis.
10. Teman-teman Foton 2011 atas kebersamaannya serta kenangan indah yang dilalui bersama sejak awal menginjakkan kaki di Fisika ITS.
11. Semua pihak yang namanya tidak tercantum karena keikhlasa mereka dalam membantu penulis dalam melakukan pengerjaan tugas akhir ini , semoga amal perbuatannya diterima di sisi ALLAH SWT. Aamiin.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam Tugas Akhir ini Sehingga kritik dan saran akan sangat diharapkan demi perbaikan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk para pembacanya. AAmiin.

Surabaya, 04 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gelombang dan Metode Geofisika.....	5
2.2 Gelombang Elektromagnet.....	5
2.3 <i>Ground Penetrating Radar (GPR)</i>	9
2.3.1. Prinsip Dasar GPR	10
2.3.2. Sistem Komponen	13
2.3.3. Kedalaman Penetrasi GPR	14
2.3.4. Aplikasi GPR	14
2.4 Lumpur Lapindo.....	16
2.5 MATGPR	17
2.6 GSSI SIR-20 dan <i>Antenna 3200MLF 80 MHz</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Waktu dan Tempat Pengambilan Data	19
3.2. <i>Survey</i> Lapangan/Orientasi Medan	20
3.3. Pengumpulan/Pengambilan Data	20
3.4. Pengolahan Data.....	20

3.5. Korelasi dengan Lithologi.....	23
3.6. Interpretasi.....	24
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1. Pengolahan Data GPR.....	25
4.1.1. Lintasan I.....	25
4.1.2. Lintasan II.....	39
4.1.3. Lintasan III.....	40
4.2. Interpretasi Data GPR.....	41
4.2.1 Lintasan I.....	41
4.2.2 Lintasan II.....	43
4.2.3 Lintasan III.....	44
BAB V KESIMPULAN.....	47
5.1. Kesimpulan.....	47
5.2. Saran.....	47
DATAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	51
Biodata Penulis.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Ilustrasi penjalaran gelombang elektromagnetik.....	8
Gambar 2.2.	Ilustrasi Penjalaran Gelombang GPR antar medium yang berbeda.....	9
Gambar 2.3.	Mekanisme Kerja GPR.....	11
Gambar 2.4.	(a) Penggunaan GPR di lapangan (b) Citra dari pipa yang terpendam dalam tanah.....	15
Gambar 2.5.	Aplikasi GPR untuk mendeteksi struktur beton pada dinding.....	15
Gambar 2.6.	Banjir Lumpur Panas Sidoarjo.....	16
Gambar 2.7.	GSSI SIR-20.....	18
Gambar 2.8.	<i>Antenna</i> 3200MLF 80 MHz.....	18
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3.2.	Gambar lintasan pengukuran (garis kuning).....	20
Gambar 3.3.	Diagram alir pengolahan Data.....	21
Gambar 4.1.	Radargram Data Mentah GPR.....	26
Gambar 4.2.	Radargram Hasil <i>Editing Marker</i> Data Mentah.....	26
Gambar 4.3.	Radargram hasil dari <i>Remove DC</i>	27
Gambar 4.4.	Radargram Hasil dari <i>Dewowing</i>	28
Gambar 4.5.	Radargram Hasil dari <i>Filtering Lowpass</i> Pertama.....	29
Gambar 4.6.	Radargram Hasil dari <i>filtering highpass</i> pertama.....	29
Gambar 4.7.	Radargram Hasil dari <i>Trimed Time Window</i>	30
Gambar 4.8.	Radargram Hasil <i>Background Removal</i>	31
Gambar 4.9.	Radargram Hasil <i>Bandpass Filter</i>	31
Gambar 4.10.	Radargram Hasil <i>Lowpass Filter</i> Kedua.....	32
Gambar 4.11.	Radargram Hasil <i>Highpass Filter</i> Kedua.....	33
Gambar 4.12.	Radargram Hasil dari <i>Inverse Amplitude Decay Mean Attenuation</i>	33
Gambar 4.13.	Radargram Hasil dari <i>FK filtering</i>	34

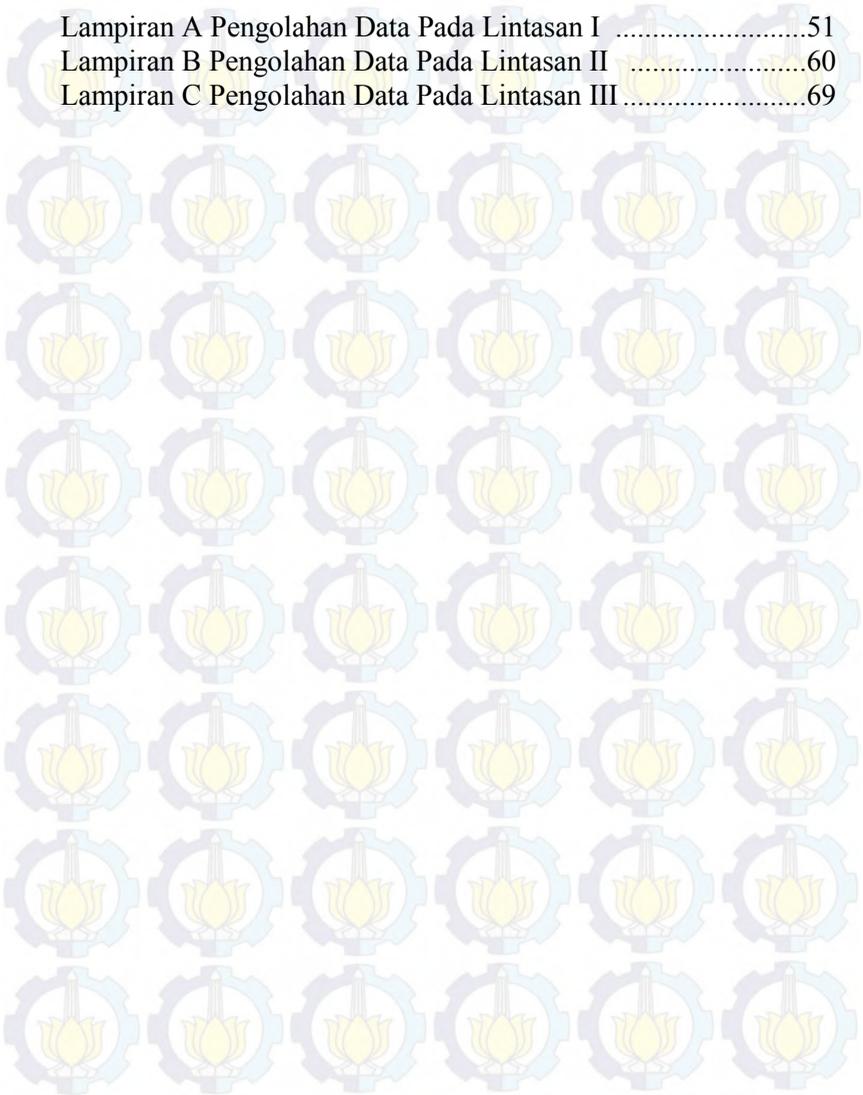
Gambar 4.14. Radargram Hasil dari <i>Predictive Deconvolution</i>	35
Gambar 4.15. Radargram Hasil dari <i>KL Filtering</i>	36
Gambar 4.16. Radargram Hasil dari <i>Suppress Dipping</i>	37
Gambar 4.17. Radargram Hasil dari <i>Adjust Signal Position</i>	37
Gambar 4.18. Radargram Hasil dari <i>Migration</i>	38
Gambar 4.19. Radargram Hasil dari <i>Time to depth</i>	39
Gambar 4.20. Radargram Hasil Pengolahan Data pada Lintasan II	40
Gambar 4.21. Radargram Hasil Pengolahan Data pada Lintasan III	41
Gambar 4.22. Radargram Hasil Interpretasi Data pada Lintasan I.....	42
Gambar 4.23. Radargram Hasil Interpretasi Data pada Lintasan II	44
Gambar 4.24. Radargram Hasil Interpretasi Data pada Lintasan III.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Harga konstanta relatif dielektrik, konduktivitas listrik, kecepatan gelombang radar dan atenuasi pada beberapa material.	8
---	---

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Pengolahan Data Pada Lintasan I	51
Lampiran B Pengolahan Data Pada Lintasan II	60
Lampiran C Pengolahan Data Pada Lintasan III	69



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana lumpur Sidoarjo merupakan salah satu bencana yang berkepanjangan dan menimbulkan efek yang sangat buruk untuk masyarakat dan lingkungan. Sejauh ini antisipasi dari pemerintah untuk menekan efek dari bencana ini adalah dengan membangun tanggul lumpur di sekitar area luapan. Tanggul ini merupakan tanggul buatan yang digunakan sebagai antisipasi luapan lumpur Sidoarjo agar dampak yang ditimbulkan oleh luapan lumpur Sidoarjo tidak semakin meluas. Namun seiring berjalannya waktu dan volume lumpur yang semakin meningkat pastinya kondisi kekuatan tanggul juga akan berubah. Hal ini juga dibuktikan dengan adanya tanggul yang jebol pada tahun 2010 pada titik P78-79. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk melihat kondisi bawah permukaan tanggul lumpur Sidoarjo untuk mengetahui potensi tingkat kerawanan tanggul. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menampilkan kondisi terkini dari titik P78-79 setelah dilakukan perbaikan tanggul, sehingga bisa di pastikan apakah tanggul masih dalam kondisi layak atau perlu dilakukan perbaikan lagi.

Berdasar alasan di atas maka penelitian terhadap tanggul lumpur Sidoarjo perlu dilakukan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan dari tanggul Sidoarjo. Sesuai teknologi yang berkembang ditemukan suatu metode baru dalam bidang geofisika untuk mengetahui kondisi bawah permukaan tanah menggunakan suatu radar yaitu metode GPR (*Ground Penetrating Radar*). Metode GPR atau georadar merupakan metode geofisika yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk memetakan struktur bawah permukaan dalam radius atau kedalaman yang cukup dangkal, selain itu metode ini mempunyai keuntungan lain yaitu bersifat nondestruktif dan memiliki resolusi tinggi dari kontras dielektrik dalam formasi geologi (Aryanti Desi, 2002). Dimana gelombang

elektromagnetik yang dipancarkan ke dalam tanah melalui antena pemancar (*transmitter*) dan pantulannya ditangkap oleh antena penerima (*reciever*) di permukaan bumi. Pulsa georadar akan diteruskan, dipantulkan dan dihamburkan oleh struktur bawah permukaan dan oleh adanya anomali bawah permukaan. Kedalaman penetrasinya tergantung pada konduktivitas listrik, konstanta dielektrik, kandungan air pada pasir atau batuan dan kecepatan gelombang elektromagnetik di bawah permukaan (Handoyo, 1999).

Selain itu keuntungan lain menggunakan gelombang elektromagnetik adalah tingkat keakuratan dalam penggambaran dan pencarian *anomaly* bawah permukaan seperti pencarian pipa, kontaminasi air tanah dan eksplorasi bahan-bahan mineral lainnya reflektor. Secara umum metode GPR hampir sama dengan metode seismik refleksi, pengolahan datanya pun juga hampir sama namun hanya berbeda pada jangkauan dan parameternya saja. Pada penelitian ini metode GPR digunakan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan bawah tanggul lumpur Sidoarjo untuk mengetahui potensi kerawanan tanggul. Pada penelitian ini *Software* yang digunakan adalah Reflexw dan MatGPR.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang diharapkan terjawab pada penelitian kali ini yaitu mengetahui gambaran bawah permukaan dari tanggul lumpur Sidoarjo serta mengidentifikasi potensi kerawanan tanggul berdasar gambaran bawah permukaan tanggul.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui gambaran dari tanggul lumpur Sidoarjo, dan juga struktur bawah permukaan-nya berdasarkan karakteristik dari gelombang elektromagnetik.
2. Untuk mengidentifikasi potensi kerawanan tanggul berdasar gambaran bawah permukaan tanggul.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian hanya dilakukan pada daerah Tanggul lumpur Sidoarjo pada titik P76-77, P78-79, P79-83
2. Kajian pembahasan hanya dilakukan berdasarkan aspek geofisika dan geologis dan tidak mengkaji teknik perencanaan pembuatan tanggul.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran mengenai kondisi bawah permukaan tanggul.
2. Memberikan pemahaman tentang bagaimana potensi kerawanan tanggul lumpur sehingga dapat dilakukan tindakan yang diperlukan.



“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang dan Metode Geofisika

Gelombang adalah getaran yang merambat. Bentuk ideal dari suatu gelombang akan mengikuti gerak sinusoide, gelombang merambatkan energi, gelombang dapat diklasifikasikan berdasarkan media perambatannya, arah rambatannya, dan amplitudonya. Dengan menggunakan prinsip-prinsip gelombang seorang geofisikawan dapat mengetahui bagian dalam permukaan bumi, gelombang-gelombang tersebut di aplikasikan pada metode geofisika, contoh kajian dari metode geofisika adalah eksplorasi seismik yang digunakan dalam pencarian hidrokarbon ataupun sumberdaya alam berupa gas dan minyak bumi. ada lima buah metode geofisika yang biasanya dipakai untuk menginterpretasikan bagian dalam bumi, diantaranya adalah geolistrik, seismik, GPR, *gravity* dan magnetik. Namun tidak semua diantaranya menggunakan kajian gelombang, hanya metode seismik dan GPR saja yang menggunakan pemanfaatan gelombang.

2.2 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:

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial D}{\partial t} + J \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = 0 \quad (2.4)$$

Yang mana makna simbol tersebut adalah sebagai berikut:

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

\vec{B} = medan magnetik (Weber/m² atau Tesla)

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

\vec{J} = rapat arus listrik (Ampere/m²)

\vec{D} = pergeseran listrik (Coulomb/ m²)

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

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

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.6)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho} \quad (2.7)$$

dengan:

μ = permeabilitas magnetik (Henry/m)

ϵ = permitivitas listrik (Farad/m)

σ = konduktivitas (mho/m)

ρ = tahanan jenis (ohm.m)

Dengan menerapkan operasi curl pada persamaan Maxwell akan diperoleh:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\nabla \times \left\{ \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right\} = -\nabla \times \left\{ \frac{\partial}{\partial t} (\mu \vec{H}) \right\} \quad (2.8)$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\nabla \times \left\{ \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right\} = \nabla \times \left\{ \sigma \vec{E} + \frac{\partial}{\partial t} (\mu \vec{H}) \right\} \quad (2.9)$$

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

$$\left(\nabla^2 - \frac{\partial}{\partial t} \mu \left(\sigma + \epsilon \frac{\partial}{\partial t} \right) \right) \begin{bmatrix} \vec{E} \\ \vec{H} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.10)$$

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

Kecepatan gelombang radio pada sebuah medium:

$$V_m = \frac{c}{\left[\left(\frac{\epsilon_r \mu_r}{2} \right) (1 + P^2) - 1 \right]^{1/2}} \quad (2.11)$$

dimana:

c = kecepatan cahaya

ϵ_r = konstanta relatif dielektrik

μ_r = permeabilitas relatif magnetik

P = loss factor = $\sigma / \omega \epsilon$

σ = konduktivitas

Ω = frekuensi sudut = $2\pi f$

F = frekuensi

ϵ = permitivitas

ϵ_0 = permitivitas di ruang hampa

untuk materi dengan loss factor rendah $P \approx 0$:

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.12)$$

Hubungan antara konstanta relatif dielektrik dan porositas adalah:

$$\epsilon = (1 - \phi) \epsilon_m + \phi \epsilon_w \quad (2.13)$$

dimana:

ϕ = porositas

ϵ_m = konstanta relatif dielektrik untuk matriks batuan

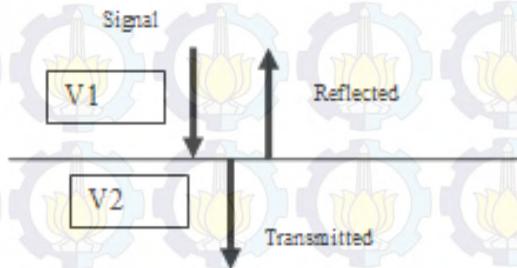
ϵ_w = konstanta relatif dielektrik untuk fluida

Koefisien refleksi (R) didefinisikan sebagai perbandingan energi yang dipantulkan dan yang datang, dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$R = (V_1 - V_2)(V_1 + V_2)$$

atau

$$R = (\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1})(\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}) \quad (2.14)$$



Gambar 2.1 Ilustrasi penjalaran gelombang elektromagnetik

dimana ε_1 dan ε_2 konstanta dielektrik relatif lapisan 1 dan lapisan 2, ε adalah ukuran kapasitas dari sebuah material dalam hal melewati muatan saat medan elektromagnetik melewatinya. Contoh dari konstanta ini disusun pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Harga konstanta relatif dielektrik, konduktivitas listrik, kecepatan gelombang radar dan atenuasi pada beberapa material.

Material	K	σ (mS/m)	V (m/ns)	A (dB/m)
Udara	1	0	0.3	0
Air murni	80	0.01	0.33	0.2

Air laut	80	3×10^4	0.01	0.1
Pasir kering	4	0.01	0.15	0.01
Pasir basah (<i>aquifer</i>)	25	0.1-1	0.06	0.03
Limetone	6	0.5-2	0.12	0.04
Lempung padat	5-35	0.05	0.06	1-300
Granit	5	0.1-1	0.13	0.01
Rock salt	6	0.1-1	0.13	0.01
Slate	5-15	0.03	0.09	1-100

2.3 Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR)

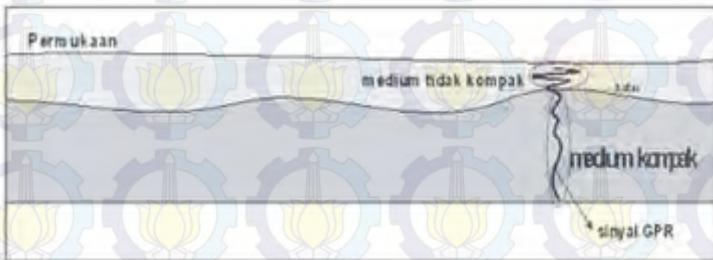
Perkembangan teknologi elektronika dalam kurun waktu beberapa tahun ini, telah melahirkan sebuah metode baru dalam bidang ilmu kebumihan/eksplorasi geofisika yaitu Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR), dimana pulsa elektromagnetik dipancarkan ke dalam bumi dan direkam oleh *antenna* di permukaan. Pulsa radar diteruskan, dipantulkan dan dihamburkan oleh struktur permukaan dan *anomaly* di bawah permukaan. Gelombang EM yang dipantulkan dan dihamburkan diterima oleh *antenna* penerima di permukaan bumi.

Hubungan antara radiasi gelombang EM dengan media dapat diperoleh dari persamaan Maxwell. Karakteristik radiasi gelombang EM pada struktur bumi ditentukan parameter fisika: permeabilitas (μ), permitivitas listrik (ϵ), dan konduktivitas (σ). Keunggulan yang dimiliki metode ini antara lain keakuratan dalam mendeteksi struktur bawah permukaan seperti air tanah, fosil arkeologi, eksplorasi bahan-bahan mineral, dan sebagainya.

Pola refleksi yang diamati pada radargram dapat bersifat unik, artinya bahwa reflektor yang sama dapat disebabkan oleh objek yang berbeda. Refleksi yang sangat kuat merupakan ciri khas dari bahan metal, *water-table*, dan lapisan lempung. Bahan metal seperti pipa akan memberikan respon seperti hiperbola dengan amplitudo besar pada radargram. Akan tetapi bahan-bahan dari kabel, bolder dan pipi terbuat dari beton dapat juga

memperlihatkan pola radargram yang serupa. Radargram dari *water-table* dan lapisan lempung memiliki ciri khas amplitudo besar namun relatif datar (Harry, 2009).

Pengukuran dengan menggunakan GPR ini merupakan metode yang tepat untuk mendeteksi benda-benda kecil yang berada di dekat permukaan bumi (0,1-3 meter) dengan resolusi yang tinggi yang artinya konstanta dielektriknya menjadi rendah. Kemampuan yang dimiliki oleh metode ini merupakan salah satu alasan yang sering kali dipakai oleh seorang geologis dalam kerangka kerja lapangannya. Selain efektif dengan segala kemudahan yang dimilikinya metode ini juga mampu mengoptimalkan kondisi anggaran survei bila dibandingkan metode lainnya dalam hal pemboran (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Ilustrasi Penjalaran Gelombang GPR antar medium yang berbeda

2.3.1. Prinsip Dasar GPR

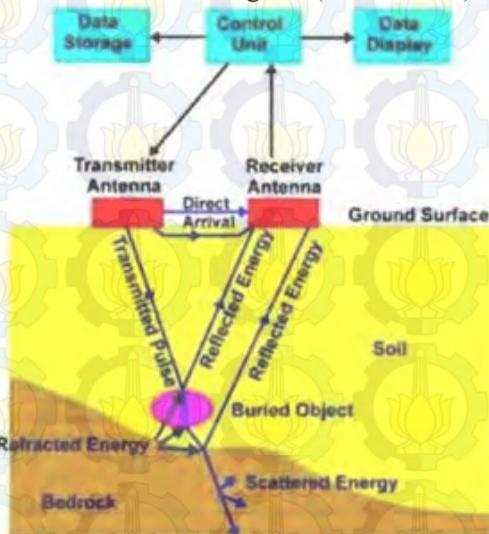
GPR terdiri dari sebuah pembangkit sinyal, *antenna transmitter* dan *receiver* sebagai pendeteksi gelombang EM yang dipantulkan. Sinyal radar ditransmisikan sebagai pulsa-pulsa dengan frekuensi tinggi. *Antenna receiver* menerima pulsa yang tidak terabsorpsi oleh bumi tetapi dipantulkan dalam domain waktu tertentu.

Mode konfigurasi *antenna transmitter* dan *receiver* pada GPR terdiri dari mode monostatik dan bistatik. Mode monostatik yaitu bila *transmitter* dan *receiver* digabung dalam satu *antenna*

sedangkan mode bistatik bila kedua *antenna* memiliki jarak pemisah.

Transmitter membangkitkan pulsa gelombang EM pada frekuensi tertentu sesuai dengan karakteristik *antenna* tersebut (10Mhz - 4Ghz). *Receiver* diset untuk melakukan *scan* yang secara normal mencapai 32 – 512 *scan* per detik. Setiap hasil *scan* ditampilkan pada layar monitor sebagai fungsi waktu *two-way time travel time*, yaitu waktu tempuh gelombang EM menjalar dari *transmitter* – target – *receiver*. Tampilan ini disebut dengan radargram.

Prinsip kerja alat GPR yaitu dengan mentransmisikan gelombang radar (*Radio Detection and Ranging*) ke dalam medium target dan selanjutnya gelombang tersebut dipantulkan kembali ke permukaan dan diterima oleh alat penerima radar (*receiver*), dari hasil refleksi itulah berbagai macam objek dapat terdeteksi dan terekam dalam radargram (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Mekanisme Kerja GPR

Untuk mendeteksi suatu objek diperlukan perbedaan parameter kelistrikan dari medium yang dilewati gelombang radar. Perbedaan parameter kelistrikan itu antara lain permitivitas listrik, konduktivitas dan permeabilitas magnetik. Sifat elektromagnetik suatu material bergantung pada komposisi dan kandungan air didalamnya, dimana keduanya merupakan pengaruh utama pada perambatan kecepatan gelombang radar dan atenuasi gelombang elektromagnetik dalam material. Reynold dalam bukunya "*An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*", menyatakan bahwa kecepatan gelombang radar dalam suatu medium tergantung pada kecepatan cahaya dalam ruang hampa ($c = 0.3 \text{ m/ns}$), konstanta dielektrik relatif medium (ϵ_r) dan permeabilitas magnetik relatif (μ_r).

Keberhasilan metode GPR bergantung pada variasi bawah permukaan yang dapat menyebabkan gelombang radar tertransmisikan dan refleksikan. Refleksi yang ditimbulkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik timbul akibat adanya perbedaan antara konstanta dielektrik relatif antara lapisan yang berbatasan. Perbandingan energi yang direfleksikan disebut koefisien refleksi (R) yang ditentukan oleh perbedaan cepat rambat gelombang elektromagnetik dan lebih mendasar lagi adalah perbedaan dari konstanta dielektrik relatif dari medium yang berdekatan.

Dalam perambatannya, amplitudo sinyal akan mengalami pelemahan karena adanya energi yang hilang, sebagai akibat terjadinya refleksi/transmisi di tiap batas medium dan terjadi setiap kali gelombang radar melewati batas antar medium. Faktor kehilangan energi disebabkan oleh perubahan energi elektromagnetik menjadi panas. Penyebab dasar terjadinya atenuasi merupakan fungsi kompleks dari sifat dielektrik dan sifat listrik medium yang dilewati oleh sinyal radar. Faktor atenuasi tergantung pada konduktivitas, permitivitas, dan permeabilitas magnetic medium, dimana sinyal tersebut menjalar, serta frekuensi sinyal itu sendiri.

2.3.2. Sistem Komponen

Sistem GPR yang digunakan untuk mengukur keadaan di bawah permukaan tanah terdiri dari unit kontrol, antena pengirim dan antena penerima, penyimpanan data yang sesuai dan peralatan display. Unit kontrol radar menghasilkan pulsa trigger tersinkronasi ke pengirim dan penerima elektronik di antena. Pulsa ini mengendalikan pengirim dan penerima elektronik untuk menghasilkan sample gelombang dari pulsa radar yang dipantulkan.

Antena merupakan transduser yang mengkonversikan arus elektrik pada elemen-elemen antena logam (biasanya antena *bowtie-dipole* sederhana) untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik yang akan dipropagasikan ke dalam material. Antena memancarkan energi elektromagnetik ketika terjadi perubahan percepatan arus pada antena. Radiasi terjadi sepanjang garis, dan radiasi terjadi sepanjang waktu ketika terjadi perubahan arah arus (misalnya pada ujung elemen antena). Mengendalikan dan mengarahkan energi elektromagnetik dari antena merupakan tujuan dari perancangan antena. Antena juga mengubah gelombang elektromagnetik ke arus pada suatu elemen antena, bertindak sebagai suatu penerima energi elektromagnetik dengan cara menangkap bagian gelombang elektromagnetik.

Frekuensi tengah antena yang disediakan untuk tujuan komersial berkisar antara 10 sampai 1000 MHz. Antena ini menghasilkan pulsa yang secara khas memiliki 2 atau 3 oktaf bandwidth. Secara umum, antena dengan frekuensi rendah dapat menyediakan kedalaman penetrasi yang lebih tinggi namun memiliki resolusi yang lebih rendah dibandingkan dengan antena dengan frekuensi tinggi.

Sistem GPR dikendalikan secara digital, dan data selalu direkam secara digital untuk kebutuhan pemrosesan *survey* akhir dan *display*. Kendali digital dan display bagian dari sistem GPR secara umum terdiri dari sebuah mikroprosesor, memori, dan *mass storage* yaitu medium untuk menyimpan bidang pengukuran.

Sebuah mikrokomputer yang kecil dan operating sistem standard kerap kali digunakan untuk mengendalikan proses pengukuran, menyimpan data, dan bertindak sebagai penghubung dengan pengguna. Data kemungkinan akan mengalami proses penyaringan pada bidang untuk menghilangkan *noise*, atau data kasar mungkin direkam terlebih dahulu dan pemrosesan data untuk menghilangkan *noise* dilakukan dikemudian waktu. Penyaringan medan untuk menghilangkan noise yang terdiri dari pemfilteran elektronik dan/atau pemfilteran digital dilakukan terlebih dahulu untuk merekam data pada medium penyimpanan data. Bidang pemfilteran secara normal harus diperkecil kecuali pada kasus-kasus tertentu ketika data harus ditafsirkan segera setelah direkam.

2.3.3. Kedalaman Penetrasi GPR

Bagaimanapun proses yang dilakukan pada data hasil rekaman, kedalaman dari GPR itu sendiri akan terbatas. Menurut Benson (1979), kedalaman penetrasi GPR sangat tergantung pada:

1. Frekuensi dari *antenna* GPR
2. Efisiensi dari radiasi *antenna*
3. Sifat-sifat kelistrikan dari lapisan batuan di bawah permukaan.

Berdasarkan studi kasus dalam hidrogeologi, dengan memakai *antenna* dengan frekuensi 80 MHz kedalaman penetrasi GPR hanya mencapai 20-70 kaki (Beres dan Haeni, 1991). Semakin besar sinyal yang terateunasi maka akan semakin dangkal pula kedalaman penetrasi dari GPR. Pada kondisi dimana terdapat lapisan es atau deposit garam, kedalaman penetrasi GPR dapat mencapai 5000 meter (Rittenhouse, 2008).

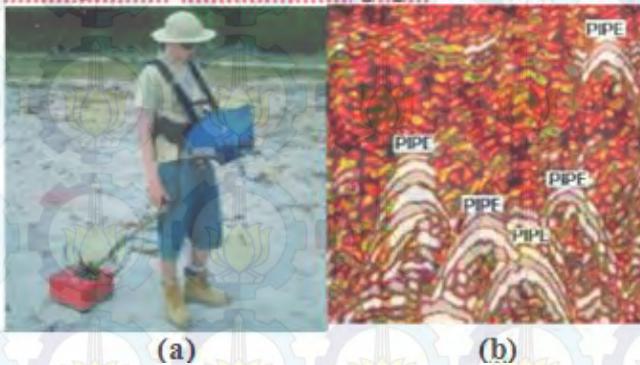
2.3.4. Aplikasi GPR

Aplikasi GPR dapat digunakan untuk *survey* benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton. *Survey* GPR untuk benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal dapat dilakukan oleh satu orang dan antena GPR dapat ditarik dengan menggunakan tangan atau ATV. GPR ini dapat digunakan untuk mencari lokasi pipa,

tank, drum, pencitraan beton, studi arkeologi. Gambar 2.4 menunjukkan salah satu aplikasi GPR untuk mendeteksi keberadaan pipa

Untuk *survey* GPR pada kedalaman yang jauh menggunakan antena GPR dengan frekuensi rendah. *Survey* GPR ini dapat digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya sumber air dibawah tanah, mempelajari lapisan tanah, kedalaman batuan dasar dan melaksanakan penelitian arkeologis.

GPR juga dapat digunakan untuk menentukan keberadaan pipa, kabel listrik, struktur beton pada dinding, lantai, terowongan, bendungan, jalan aspal dan permukaannya. Gambar 2.5 menunjukkan aplikasi GPR untuk menyelidiki struktur beton pada dinding.



Gambar 2.4 (a) Penggunaan GPR di lapangan (b) Citra dari pipa yang terpendam dalam tanah



Gambar 2.5 Aplikasi GPR untuk mendeteksi struktur beton pada dinding

2.4 Lumpur Sidoarjo

Banjir lumpur panas Sidoarjo, juga dikenal dengan sebutan Lumpur Lapindo (Lula) atau Lumpur Sidoarjo (Lusi), adalah peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran Lapindo Brantas Inc. di Dusun Balongnongo Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia, sejak tanggal 29 Mei 2006. Semburan lumpur panas selama beberapa bulan ini menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian di tiga kecamatan di sekitarnya, serta memengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur.

Lokasi semburan lumpur ini berada di Porong, yakni kecamatan di bagian selatan Kabupaten Sidoarjo, sekitar 12 km sebelah selatan kota Sidoarjo. Kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Gempol (Kabupaten Pasuruan) di sebelah selatan.



Gambar 2.6 Banjir Lumpur Panas Sidoarjo

Lokasi pusat semburan hanya berjarak 150 meter dari sumur Banjar Panji-1 (BJP-1), yang merupakan sumur eksplorasi gas milik Lapindo Brantas Inc sebagai operator blok Brantas. Oleh karena itu, hingga saat ini, semburan lumpur panas tersebut diduga diakibatkan aktivitas pengeboran yang dilakukan Lapindo Brantas di sumur tersebut. Pihak Lapindo Brantas sendiri punya dua teori soal asal semburan. Pertama, semburan lumpur berhubungan dengan kesalahan prosedur dalam kegiatan pengeboran. Kedua, semburan lumpur kebetulan terjadi bersamaan dengan pengeboran akibat sesuatu yang belum diketahui. Namun bahan tulisan lebih banyak yang condong kejadian itu adalah akibat pengeboran.

2.5 MATGPR

MATGPR merupakan salah satu perangkat lunak terbaru yang digunakan untuk mengolah data GPR, selama ini data GPR biasa diolah dengan menggunakan RADAN dan Reflexw. MATGPR sendiri merupakan perangkat lunak yang berbasis MATLAB sehingga tampilan yang ada lebih mudah dipahami.

Selain itu MATGPR merupakan *Software open source* sehingga dapat dengan mudah didapat.

2.6 GSSI SIR-20 dan *Antenna* 3200MLF 80 MHz

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, 2009).

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 2.7 GSSI SIR-20 dan *Antenna* 3200MLF 80 MHz

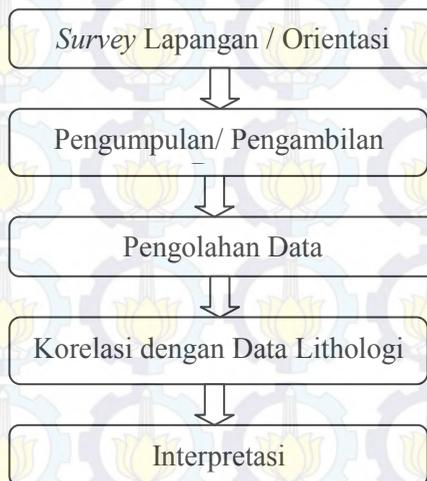
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gambaran dari tanggul lumpur Sidoarjo, dan juga struktur bawah permukaan-nya berdasarkan karakteristik dari gelombang elektromagnetik serta mengidentifikasi potensi kerawanan tanggul berdasar gambaran keretakan tanggul. Metode penelitian akan diuraikan dalam enam bagian, yaitu (1) waktu dan tempat pengambilan data, (2) *survey* lapangan/orientasi medan, (3) pengumpulan/pengambilan data, (4) pengolahan data, (5) korelasi dengan data lithologi, dan (6) interpretasi

3.1. Waktu dan Tempat Pengambilan Data

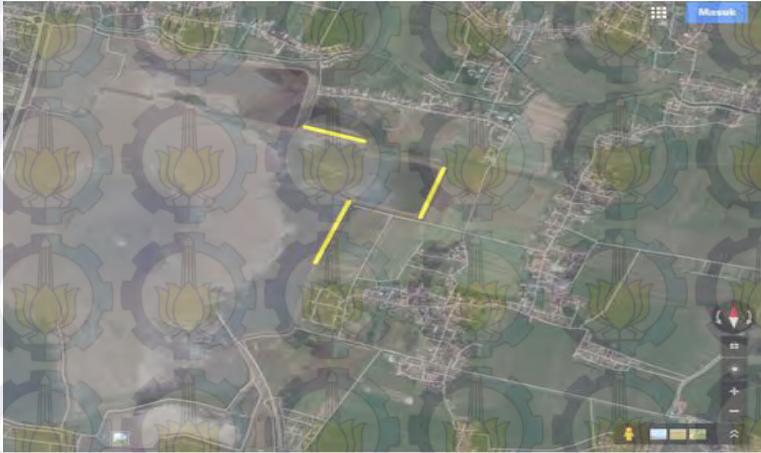
Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan pada tanggal 10 Agustus 2015 di Tanggul Lumpur Sidoarjo. Pada penelitian ini titik yang diambil dari pengukuran yaitu titik P 77-78, 78-79 dan 79-82. Secara garis besar tahapan dalam penelitian ini adalah:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2. *Survey Lapangan/Orientasi Medan*

Sebelum melakukan pengambilan data lapangan, hendaknya dilakukan perancangan lintasan untuk pengambilan data. Namun pengambilan data juga harus memperhatikan kondisi asli lapangan sesuai/tidak untuk lintasan *survey* GPR. Lintasan yang diambil pada penelitian ini berada pada tiga sisi tanggul seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gambar lintasan pengukuran (garis kuning)

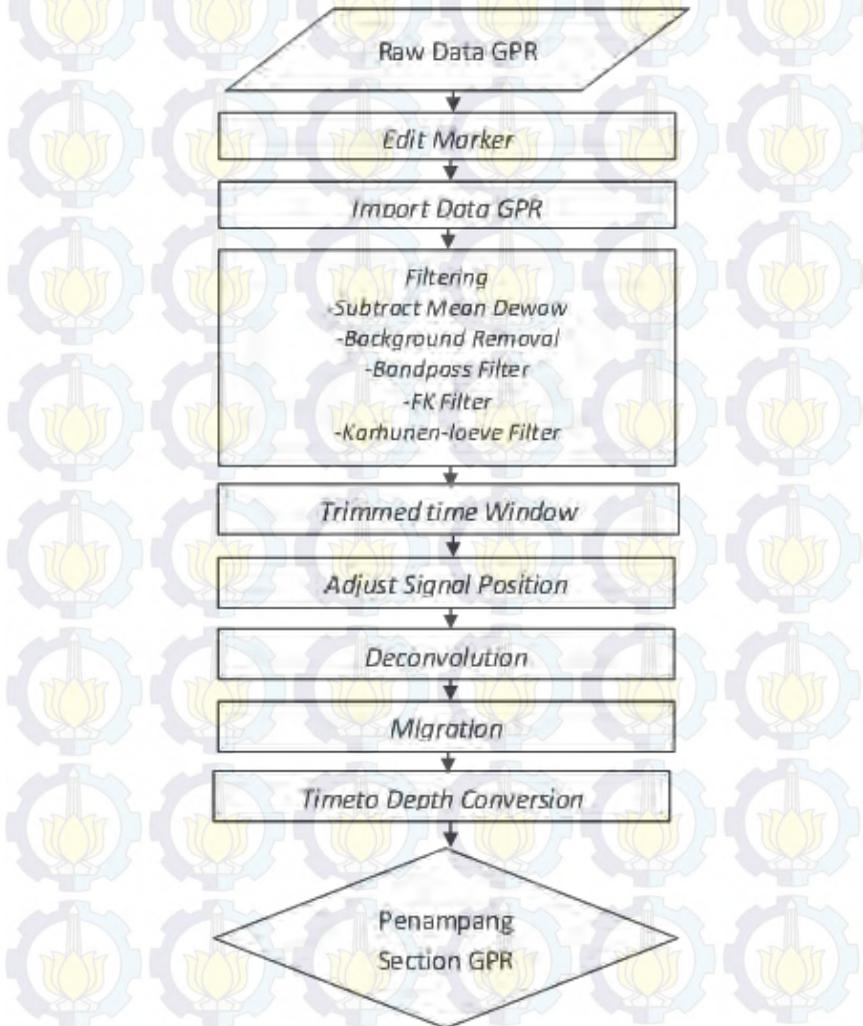
3.3. *Pengumpulan/Pengambilan Data*

Pada penelitian ini, pengambilan data di lapangan menggunakan sistem *Reflection Profiling*. Hal ini dilakukan dengan cara membawa antenna radar (*transmitter* dan *reciever*) bergerak bersamaan di atas permukaan tanah.

3.4. *Pengolahan Data*

Pada penelitian ini pengolahan data dilakukan dengan menggunakan dua buah *Software* yaitu *MatGPR* dan *Reflex*. Pada awalnya data mentah akan diolah menggunakan *reflex*, disini *reflex* berfungsi untuk merubah format data yang biasanya berbeda dari format lain sehingga bisa sesuai dengan format

untuk format MatGPR. Setelah itu MatGPR digunakan untuk mengolah data sehingga dapat ditampilkan untuk penampang bawah permukaannya.



Gambar 3.3 Diagram alir pengolahan data

- **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.

- **Import Data**

Import data merupakan tahap dimana data GPR akan dikonversi ke dalam format tertentu yang selanjutnya akan diolah menggunakan *Software* yang telah disiapkan. Pada tahap ini *Software* yang digunakan adalah Reflexw.

- **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 *noise* yang akan tertangkap. Sehingga diperlukan *Filtering* untuk menyaring *noise* dan meloloskan frekuensi sisanya. Sinyal GPR memiliki karakter yang berbeda dengan *noise* sehingga akan mudah untuk membedakan antara sinyal dan *noise*. 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 *noise* 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 *noise*), tanpa mempengaruhi sinyal yang diinginkan.

3. **Karhunen Loeve Filter**

Ini merupakan filter yang digunakan untuk menghilangkan/mengurangi *noise* lateral dengan memanfaatkan transformasi Karhunen Loeve

4. **FK Filter**

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

5. **Bandpass filter**

Ini merupakan *filter* yang digunakan untuk menekan *noise* 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 *noise*. 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).

3.5. Korelasi dengan Lithologi

Setelah data diolah dan didapatkan hasil penampang lapangan, selanjutnya data akan dikorelasikan dengan data lithologi lapangan. Hal ini ditujukan untuk mengetahui kondisi

geologi lapangan sehingga dapat dikorelasikan dengan hasil pengolahan.

3.6. Interpretasi

Interpretasi data georadar tidak lepas dari pengalaman seseorang dalam melihat karakteristik sinyal yang diperoleh. Secara teoritis cara interpretasi data adalah sinyal yang terekam dengan kuat ditandai dengan warna tajam dengan amplitudo yang besar, sedangkan sinyal yang terekam dengan lemah ditandai dengan warna yang kurang tajam. Sinyal yang terekam dengan amplitudo yang tinggi, biasanya merupakan jenis litologi pasir atau litologi lain yang mempunyai elektrokonduktivitas kecil. Sedangkan sinyal yang lemah biasanya menandakan adanya lempung atau lithologi lain yang memiliki elektrokonduktivitas yang relatif tinggi. Sinyal yang agak lemah dan terputus-putus dapat menandakan energi yang teratenuasi. Tiap-tiap tipe refleksi yang terekam pada radargram menggambarkan kondisi geologis pada daerah penelitian.

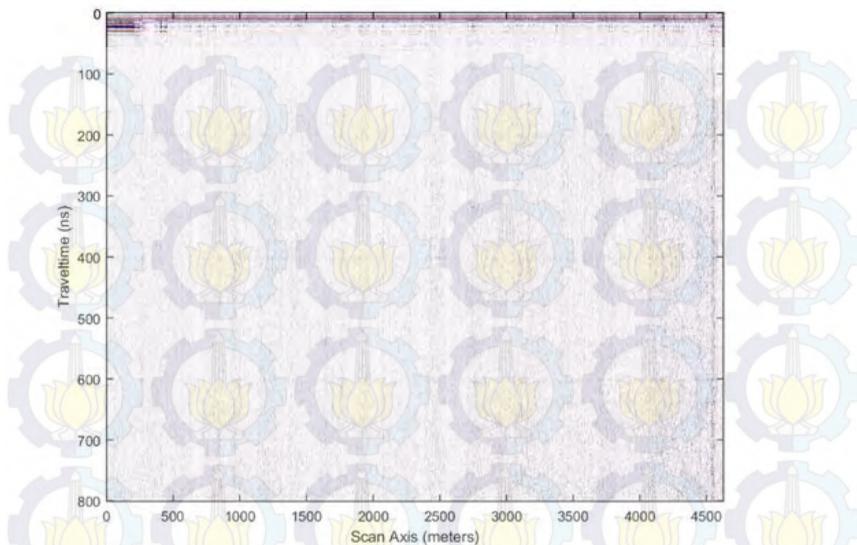
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengolahan Data GPR

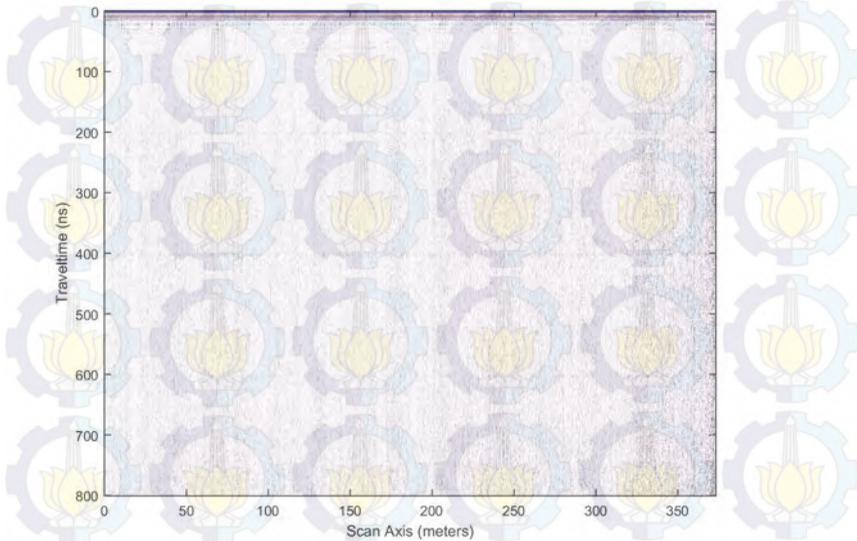
Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan pada tiga lintasan tanggul yaitu pada p76-77, p78-79 dan p79-83. Pengambilan data di tanggul ini dilakukan mengikuti arah tanggul dan tidak menggunakan metode *gridding*. Dari hasil yang didapat pada tiap lintasan, data mentah yang diperoleh hampir sama. Hal ini disebabkan oleh kondisi geologi dari tiap lintasan yang hampir sama. Parameter lapangan yang digunakan antara lain frekuensi antenna sebesar 80 MHz dan spasi antara *transmitter* dan *reciever* sebesar satu meter. Pada setiap lintasan dilakukan langkah yang berbeda, hal ini dilakukan mengikuti pada karakter sinyal yang didapat. Langkah pemrosesan data georadar adalah sebagai berikut:

4.1.1. Lintasan I

Untuk pengolahan awal data GPR, hal yang pertama dilakukan yaitu dengan melakukan koreksi terhadap *marker* yang telah diberikan pada saat proses akuisisi data. Proses *editing marker* ini bertujuan untuk merubah jarak antar marker menjadi jarak sebenarnya, ini dilakukan karena pada awal akuisisi, data yang didapat untuk jarak lintasan masih berupa *traces*. *Traces* ini masih mewakili jarak dalam jumlah sinyal yang dipancarkan sehingga jarak sebenarnya masih belum diketahui. Dalam *editing marker* ini jarak spasi awal *marker* yang ditentukan adalah 10 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 dilakukan menggunakan *software* Radan 6, hasil dari proses *editing marker* ini bisa dilihat pada Gambar 4.1.

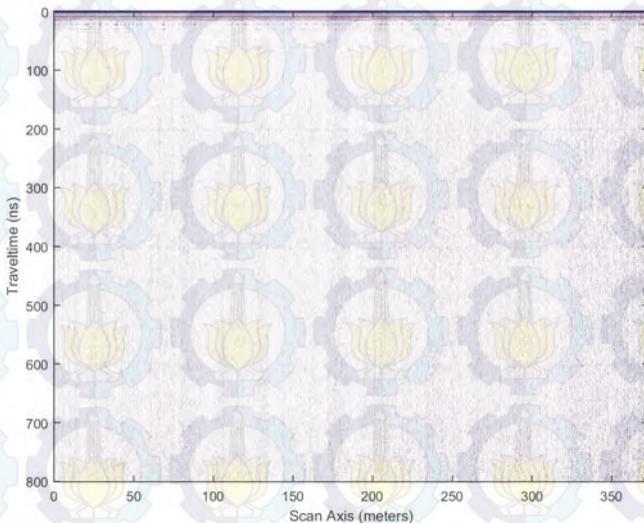


Gambar 4.1 Radargram Data Mentah GPR



Gambar 4.2 Radargram Hasil Editing Marker Data Mentah

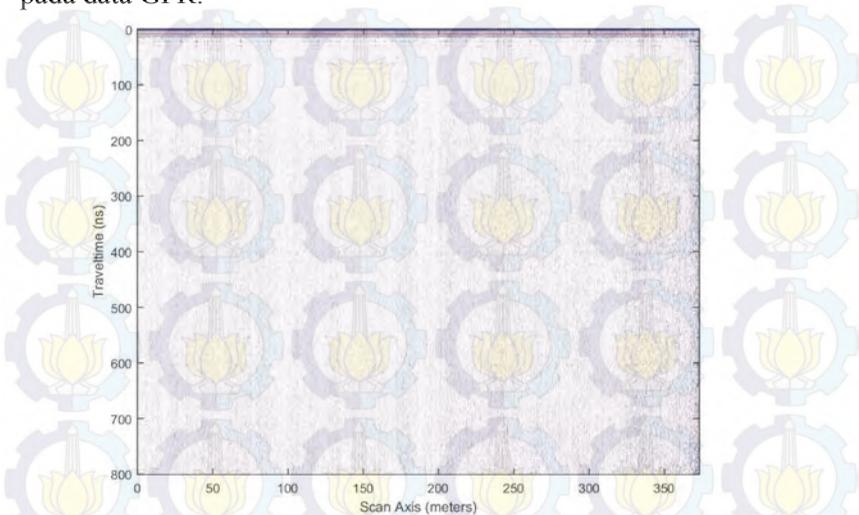
Dari Gambar 4.2 bisa dilihat bahwa awalnya data mentah memiliki panjang lintasan sepanjang lebih dari 4500 m namun setelah dilakukan *editing* terhadap *marker* dari data mentah, panjang lintasan menjadi hanya sekitar 350 m ini sesuai dengan kondisi nyata lapangan saat pengukuran. Langkah selanjutnya yaitu dilakukan *Remove DC* terhadap data. *DC Removal* mempunyai fungsi untuk mengembalikan sinyal ke posisi yang seharusnya yaitu di titik tengah (dan bukannya melenceng ke bawah ataupun ke atas), sehingga sinyal akan berbentuk sinusoidal secara sempurna.



Gambar 4.3 Radargram hasil dari Remove DC

Hasil dari *Remove DC* ini bisa dilihat pada Gambar 4.3. langkah ini hanya ditujukan untuk mengkoreksi posisi sinyal dan melakukan pembenahan terhadap sinyal. Jika dilihat pada gambar sebelum dan sesudah *Remove DC* bisa dilihat bahwa kondisi data tidak mengalami perubahan yang besar. Ini menunjukkan bahwa data berada dalam kondisi yang baik (sinyal sudah berada pada posisi yang tepat). Selanjutnya data diolah lagi melalui proses

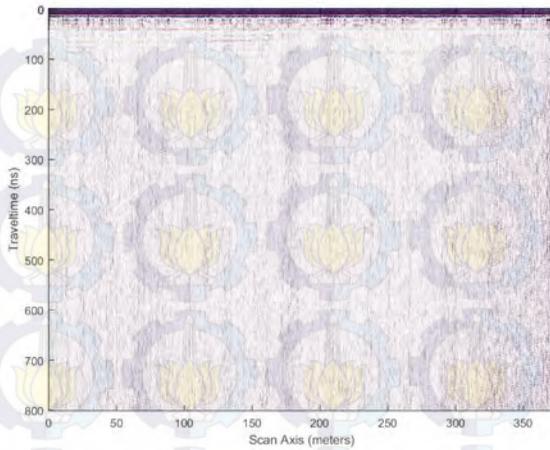
dewow. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* rendah pada data GPR.



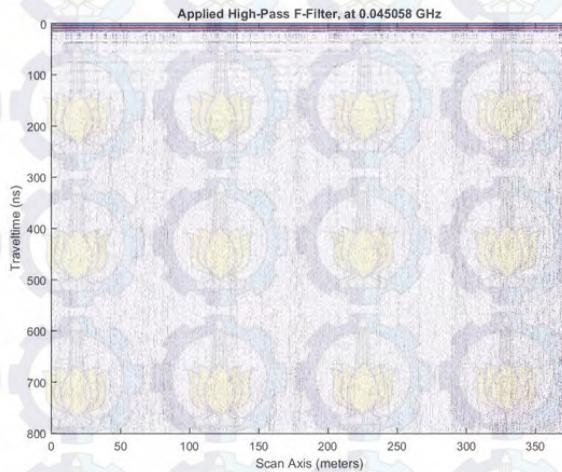
Gambar 4.4 Radargram Hasil dari Dewowing

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan proses *filtering* awal, yang pertama yaitu proses *lowpass filtering*. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* pengukuran dengan menentukan batas terhadap frekuensi yang diinginkan. Dalam pengolahan lintasan 1 ini batas yang di berikan yaitu 150 MHz. Sehingga frekuensi yang diambil berada pada rentang 150 MHz kebawah (0-150 MHz).

Hasil dari *lowpass filter* bisa dilihat pada Gambar 4.5. Dari sini bisa dilihat bahwa setelah dilakukan *lowpass filter* beberapa reflektor mulai terlihat. Setelah dilakukan *lowpass filter* langkah selanjutnya yaitu dilakukan *highpass filter*, proses ini hampir sama dengan proses *lowpass filter* namun bedanya pada *highpass filter* frekuensi yang dibatasi yaitu frekuensi batas tinggi. Dalam data *line 1* ini batas *highpass* yang diberikan yaitu sebesar 45 MHz. *Filtering* ini merupakan proses *filtering* awal untuk melihat respon data terhadap kedua *filter*.

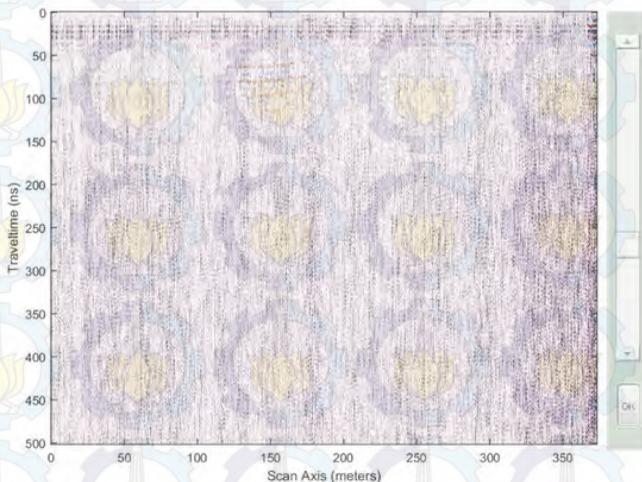


Gambar 4.5 Radargram Hasil dari *Filtering Lowpass* Pertama



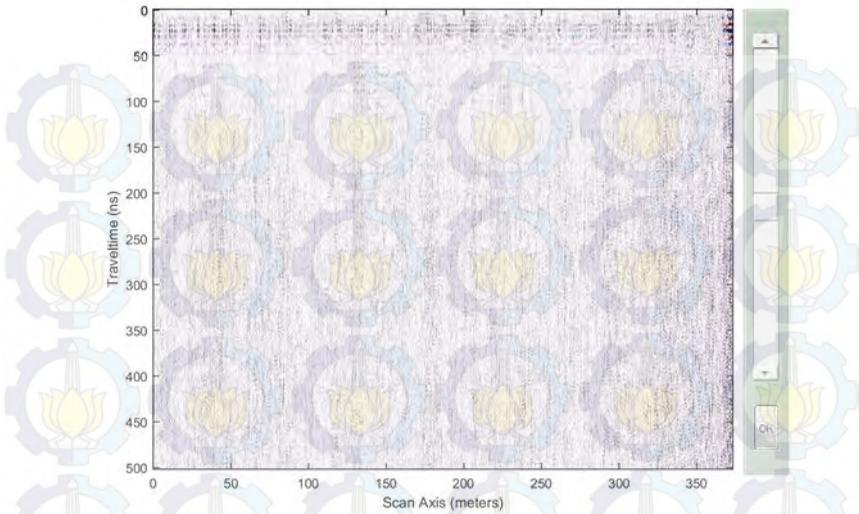
Gambar 4.6 Radargram Hasil dari *filtering highpass* pertama

Hasil dari *filtering highpass* pertama bisa dilihat pada Gambar 4.6. pada gambar diatas bisa dilihat adanya reflektor yang lebih meningkat. Namun untuk membatasi kedalaman perlu dilakukan pemotongan kedalaman, karena jangkauan dari antenna 80 MHz ini cukup terbatas hanya sekitar 20-30 meter jika berada pada kondisi geologi tanggul yang berpasir dan berbatu, selain itu adanya lumpur juga mengurangi energi yang dipancar sehingga kedalaman yang dicapai menjadi terbatas. Pembatasan data ini bisa dilakukan dengan menggunakan *Trimmed Time Window*.



Gambar 4.7 Radargram Hasil dari *Trimmed Time Window*

Hasil dari *Trimmed Time Window* ini bisa dilihat pada Gambar 4.7. Dimana pada data sebelumnya kedalaman data berada pada sekitar 800 ns, namun dengan melihat kondisi geologi tanggul sehingga perlu dilakukan pemotongan terhadap kedalaman, kedalaman yang diambil untuk data ini yaitu sebesar 500 ns. 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 4.8 Radargram Hasil *Background Removal*



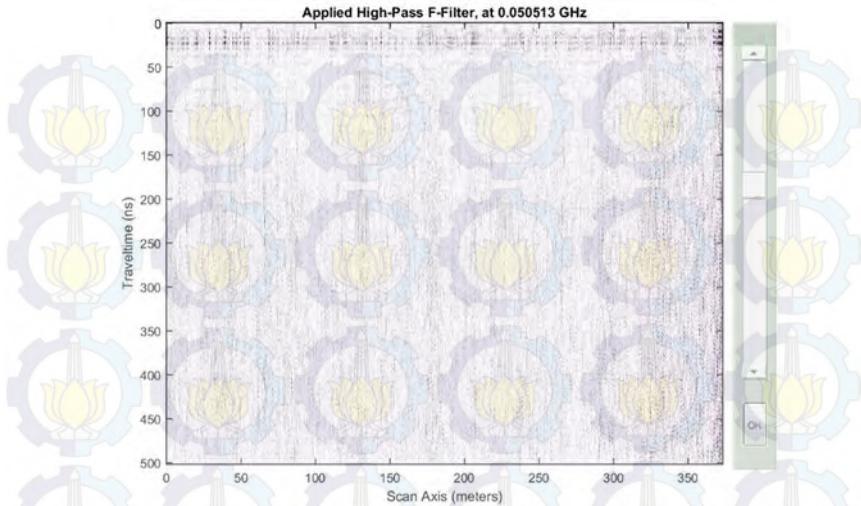
Gambar 4.9 Radargram Hasil *Bandpass Filter*

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan proses *bandpass filter* terhadap data, *bandpass filter* ini hampir sama dengan *filter lowpass* dan *highpass*, namun yang membedakan yaitu *bandpass* ini merupakan gabungan dari kedua *filter* sehingga saat pemfilteran data langsung diberi pembatas frekuensi yang diinginkan. Biasanya *filter* ini dilakukan setelah *filter* awal untuk menambah/memperjelas reflektor. Frekuensi dari *bandpass* yang digunakan yaitu sebesar 47 MHz dan 130 MHz. Hasil dari *bandpass filter* dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan *lowpass* dan *highpass* kedua, langkah ini dilakukan untuk mendapat citra yang lebih baik lagi terhadap reflektor dan *anomaly*. Nilai frekuensi yang digunakan untuk *lowpass* kedua yaitu 125 MHz dan untuk *highpass* kedua yaitu 50 MHz. Hasil dari *lowpass* kedua dan *highpass* kedua dapat dilihat dari Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Radargram Hasil *Lowpass Filter* Kedua



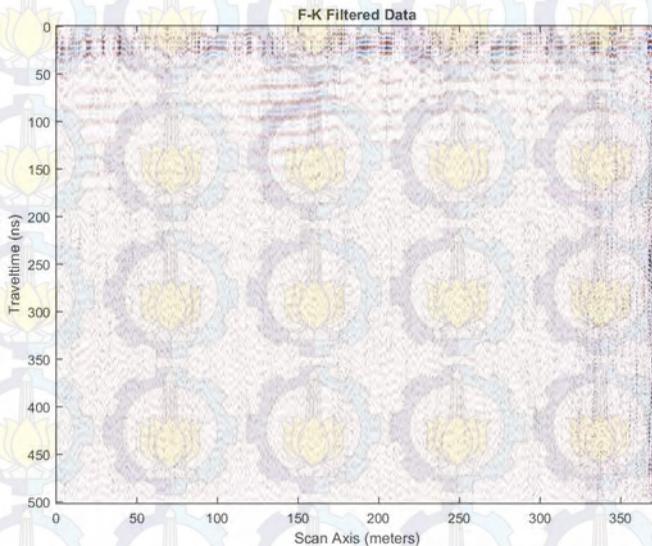
Gambar 4.11 Radargram Hasil *Highpass Filter* Kedua



Gambar 4.12 Radargram Hasil dari *Inverse Amplitude Decay Mean Attenuation*

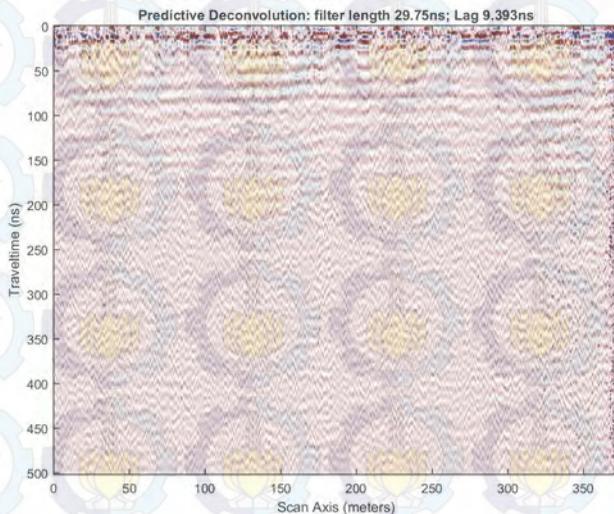
Untuk memperjelas hasil gambar olahan data dilakukan peningkatan gain, dalam hal ini dilakukan dengan menggunakan *inverse amplitude decay mean attenuation*. Peningkatan gain ini dibutuhkan untuk melihat kontras *anomaly*, sehingga pada *filtering* selanjutnya bisa di perbaiki. Hasil dari peningkatan gain bisa dilihat pada Gambar 4.12.

Dari data yang telah dilakukan peningkatan gain, maka akan terlihat *anomaly* dan penampang bawah permukaannya namun disini juga masih terlihat banyaknya *noise* yang ada di sepanjang lintasan. Untuk mengatasi dan menghilangkan *noise* ini dilakukan proses FK *filter*. *Filter* ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* koheren, atau *noise* yang muncul secara teratur dari *trace* ke *trace* (biasa disebut dengan *random noise*). Gambar 4.13 adalah hasil dari proses *filtering* menggunakan FK *Filter*.



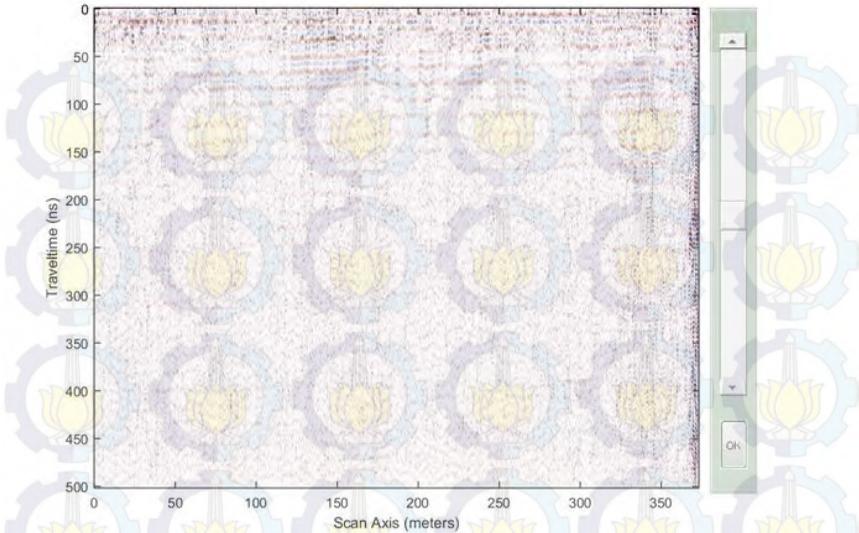
Gambar 4.13 Radargram Hasil dari FK *filtering*

Kemudian dari proses *FK Filter*, akan diolah dengan proses *Deconvolution*, proses ini digunakan 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 4.14.



Gambar 4.14 Radargram Hasil dari *Predictive Deconvolution*

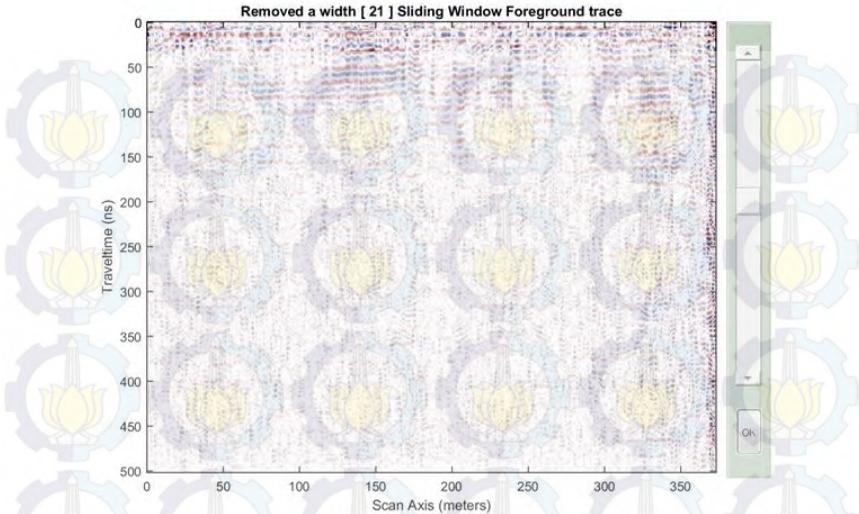
Dari proses *deconvolution* kemudian akan dilakukan pemisahan sinyal terhadap *noise* kecil, pada proses ini akan didapatkan dua hasil data yaitu *restricted* dan *residual* data. Dalam hal ini parameter yang diambil yaitu *residual* data dimana *residual* data ini merupakan sinyal yang telah dipisahkan dari *noise* tertentu sehingga *anomaly* yang ada akan terlihat semakin jelas. Hasil dari *KL filter* bisa dilihat dari Gambar 4.15.



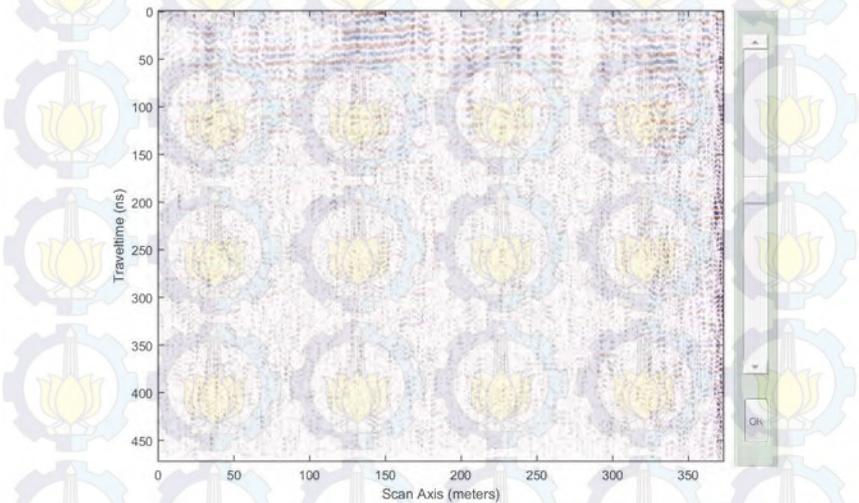
Gambar 4.15 Radargram Hasil dari *KL Filtering*

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan *suppress dipping* data dimana proses ini bertujuan untuk menghilangkan tingkat refleksi tinggi dari lingkungan sehingga beberapa kenampakan *anomaly horizontal* semakin terlihat. Nilai yang dimasukkan untuk *dipping* ini yaitu sebesar 21, nilai ini akan berbeda-beda tergantung dari kondisi data hasil pengukuran. Hasil dari proses *suppress dipping* bisa dilihat dari Gambar 4.16.

Setelah dilakukan koreksi dip, selanjutnya data akan disesuaikan posisi dari sinyalnya, hal ini dilakukan karena pada saat pengukuran posisi alat tidak langsung menyentuh tanah sehingga masih memiliki jeda waktu sebelum sinyal menyentuh permukaan tanggul. Hal inilah yang akan dihilangkan karena jeda waktu tersebut tetap akan terbaca pada data. Proses untuk menghilangkannya dengan menggunakan *adjust signal position*, nilai yang akan dipotong kemudian dimasukkan. Dalam hal ini nilai yang dimasukkan yaitu sebesar 20 ns. Hasil dari proses ini bisa dilihat pada Gambar 4.17. dimana kedalaman penampang akan berubah dari 500 ns menjadi 480 ns.



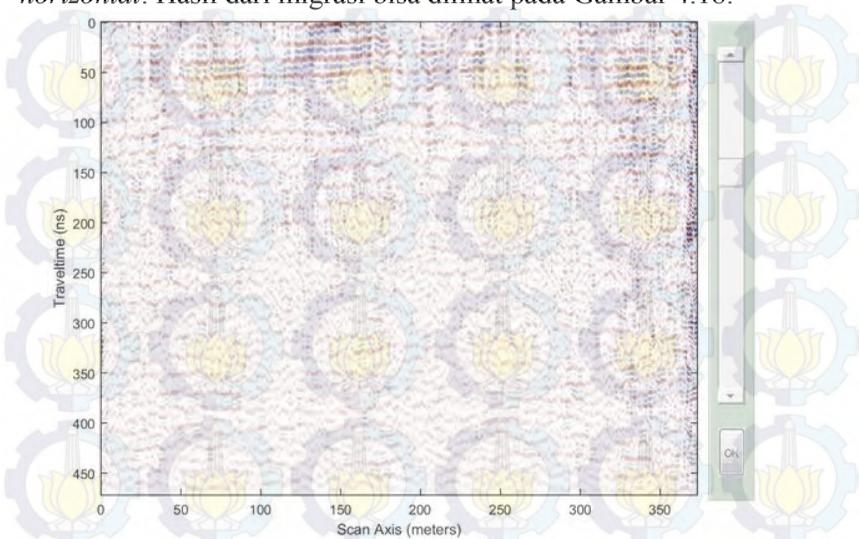
Gambar 4.16 Radargram Hasil dari *Suppress Dipping*



Gambar 4.17 Radargram Hasil dari *Adjust Signal Position*

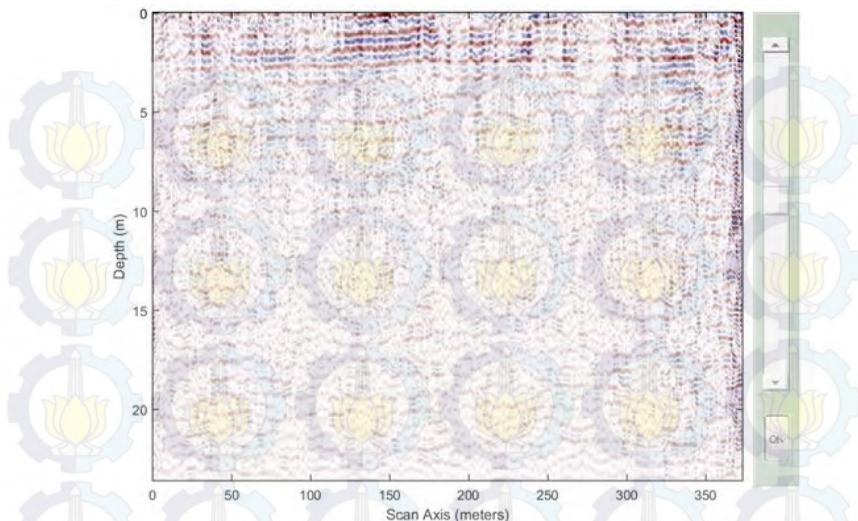
Setelah dilakukan pemotongan sinyal langkah selanjutnya yaitu migrasi, migrasi ini dilakukan untuk merubah posisi data

pada koordinat sebenarnya baik secara *vertical* maupun *horizontal*. Hasil dari migrasi bisa dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Radargram Hasil dari *Migration*

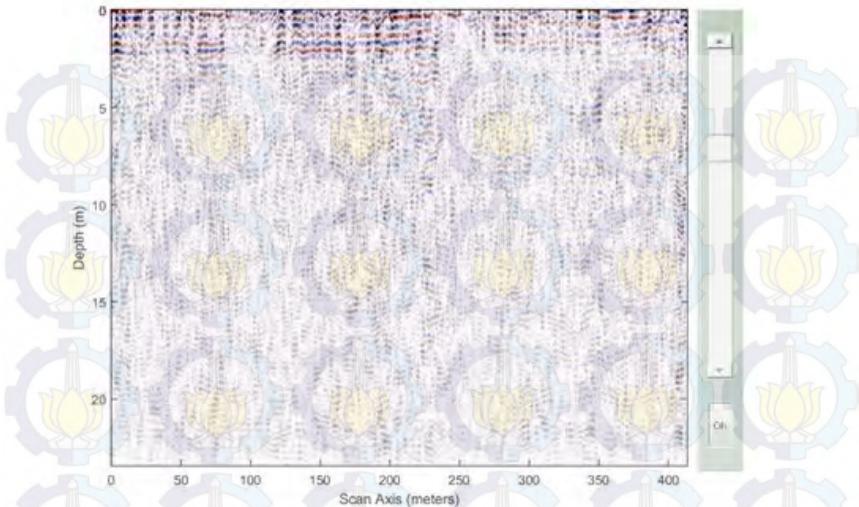
Langkah terakhir untuk pengolahan data ini yaitu konversi waktu ke kedalaman, hal ini dilakukan untuk mendapatkan kedalaman sebenarnya dari data penampang. Namun sebelum melakukan konversi kedalaman terlebih dahulu harus dimasukkan model kecepatan awal, dalam hal ini model kecepatan yang dimasukkan yaitu sebesar 0.1 m/ns, model ini dipilih mengingat kondisi lapangan pengukuran yang merupakan zona pasir dan kerikil yang disatukan, dan kecepatan gelombang pada zona tersebut sekitar 0.1 m/ns. Hasil dari proses ini bisa dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Radargram Hasil dari *Time to depth*

4.1.2. Lintasan II

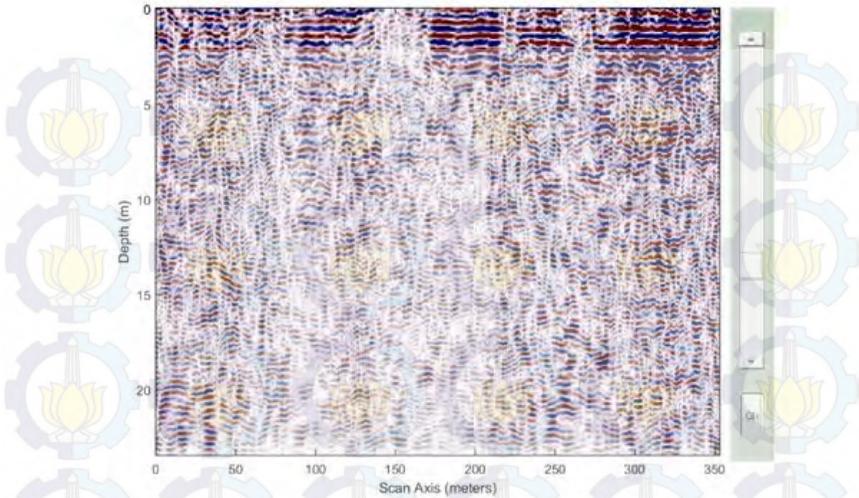
Pada lintasan II parameter yang digunakan adalah sebagai berikut: *Lowpass filter* pertama 125 MHz, *Highpass filter* pertama 47 MHz, *Remove DC component*, *Dewow*, *Trimmed Time Window* 500 ns, *Background Removal*, *Bandpass filter* 49-118 MHz, *Lowpass filter* kedua 115 MHz, *Highpass* kedua 50 MHz, *Inverse Amplitude decay mean attenuation*, *FK filter*, *Predictive Deconvolution* 39 ns, *KL filter* residual dengan 319 *smallest eigenimages*, *suppress dipping* 21, *adjust signal position*, Migrasi, dan konversi kedalaman (*Time to Depth Conversion*). Radargram hasil pengolahan data pada Lintasan II dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Radargram Hasil Pengolahan Data pada Lintasan II

4.1.3. Lintasan III

Pada lintasan III parameter yang digunakan adalah sebagai berikut: *Lowpass filter* pertama 150 MHz, *Highpass filter* pertama 50 MHz, *Remove DC component*, *Dewow*, *Trimmed Time Window* 504, *Background Removal*, *Bandpass filter* 54-122 MHz, *Inverse Amplitude decay mean attenuation*, *FK filter*, *Predictive Deconvolution* 39 ns, *KL filter* residual dengan 320 *smallest eigenimages*, *suppress dipping* 33, *adjust signal position*, Migrasi, dan konversi kedalaman (*Time to Depth Conversion*). Radargram hasil pengolahan data pada Lintasan III dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Radargram Hasil Pengolahan Data pada Lintasan III

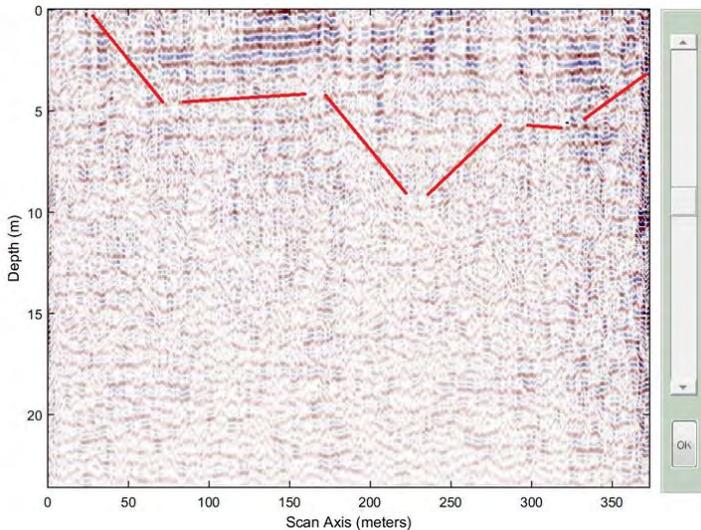
4.2. Interpretasi Data GPR

Pada penelitian kali ini data yang diolah merupakan data mentah (*raw data*) hasil pengukuran dari GPR. Data hasil pengukuran ini merupakan data hasil dari refleksi gelombang elektromagnetik oleh tiap lapisan batuan pada tanggul yang dipancarkan oleh sebuah *transmitter* dan diterima oleh *receiver*. Data yang terekam akan ditampilkan dalam bentuk radargram dalam sebuah fungsi waktu, dalam hal ini merupakan fungsi *two way travel time*. Data ini juga pada awalnya merupakan fungsi dari *traces* dalam dimensi panjangnya, sehingga perlu dilakukan *editing* terlebih dahulu agar data berubah pada nilai yang sebenarnya. Pengolahan data ini menggunakan dua macam *software* yaitu RADAN 6 dan MATGPR R3. Hasil dari pengolahan data ini akan didapat sebuah gambaran penampang bawah permukaan tanggul lumpur Sidoarjo pada titik-titik yang sudah ditentukan. Informasi ini dapat digunakan untuk menjelaskan gambaran dari tanggul lumpur

Sidoarjo tentang kondisi terkini dari tanggul. Hasil interpretasi dari tiap lintasan adalah sebagai berikut:

4.2.1 Lintasan I

Hasil pengolahan data pada lintasan pertama bisa dilihat pada Gambar 4.22. Hasil menunjukkan bahwa pada kedalaman sekitar 0-5 meter masih terlihat reflektor dengan horizon yang masih memiliki warna dan kontur yang tajam, ini merupakan hal yang wajar mengingat pada penelitian ini antenna yang digunakan merupakan antenna 80 MHz, dimana pada kondisi ini antenna hanya efektif pada kedalaman sekitar 0-10 meter mengingat kondisi geologi tanggul merupakan pasir dan batu.



Gambar 4.22 Radargram Hasil Interpretasi Data pada Lintasan I

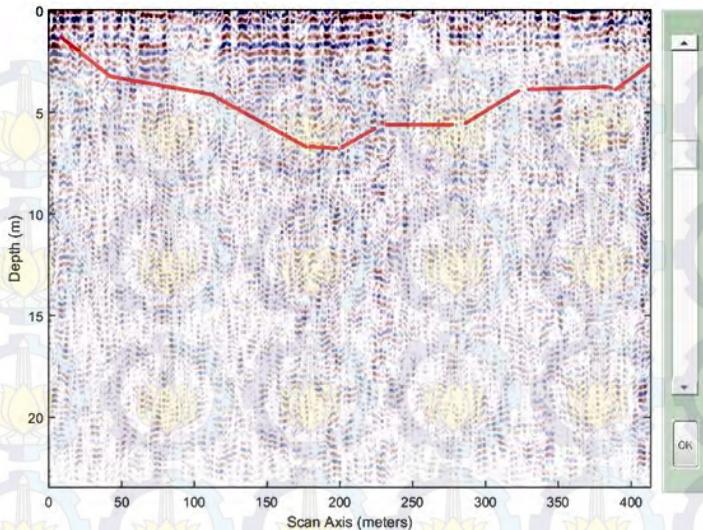
Selain itu hilangnya energi yang diakibatkan lumpur juga mempengaruhi tingkat efektifitas antenna, karena pada kedalaman 0-10 meter masih merupakan zona tanggul, sehingga kondisi reflektor masih terlihat jelas, namun ketika memasuki kedalaman 10 meter keatas zona tanggul mulai berkurang dan digantikan oleh tanah yang bercampur dengan lumpur, disinilah terjadi banyak hilangnya energi dari *transmitter*. Selain itu adanya pola

yang tajam juga berpengaruh terhadap *noise*, yang artinya juga banyak *noise* yang terekam mengingat pada warna tajam ini pola dari *anomaly* masih kurang jelas.

Dilihat dari hasil pengolahan data terlihat bahwa pada jarak 0-150 meter terlihat suatu pola reflektor yang kontinu (ditandai dengan garis merah) pada kedalaman 0-5 meter, namun ketika memasuki jarak 150 hingga 250 meter reflektor tersebut berubah semakin dalam hingga kedalaman 10 meter. Pola ini terlihat cukup jelas mengingat pada jarak 250 hingga 350 meter reflektor kembali pada kedalaman 5 meter. Hal ini dapat diinterpretasikan sebagai rembesan air lumpur, mengingat pada zona pengukuran kondisi geologis tanggul saat pengukuran masih berlumpur meskipun sudah cukup surut airnya. Ini juga bisa diperkuat dengan pola kompaksi dari tiap kedalaman dimana pada tiap kedalaman dan jarak memiliki kompaksi yang berbeda cukup jauh ini ditunjukkan dengan ketajaman warna yang berbeda pada tiap jarak meskipun pada kedalaman yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi tanggul pada lintasan ini masih cukup stabil terlepas dari rembesan yang terjadi. Selain itu hal ini juga diperkuat dengan tidak adanya penurunan ketinggian dari tanggul akibat dari amblesnya tanggul, yang mana hal ini cukup sering terjadi pada sekitar area tanggul dan tanggul-tanggul bagian lain.

4.2.2 Lintasan II

Hasil pengolahan data pada lintasan pertama bisa dilihat pada Gambar 4.23. Pada pengolahan di *line* kedua ini kedalaman efektif yang dicapai dari radar masih sama yaitu berkisar antara 0-10 meter hal ini menunjukkan bahwa material penyusun tanggul masih sama.

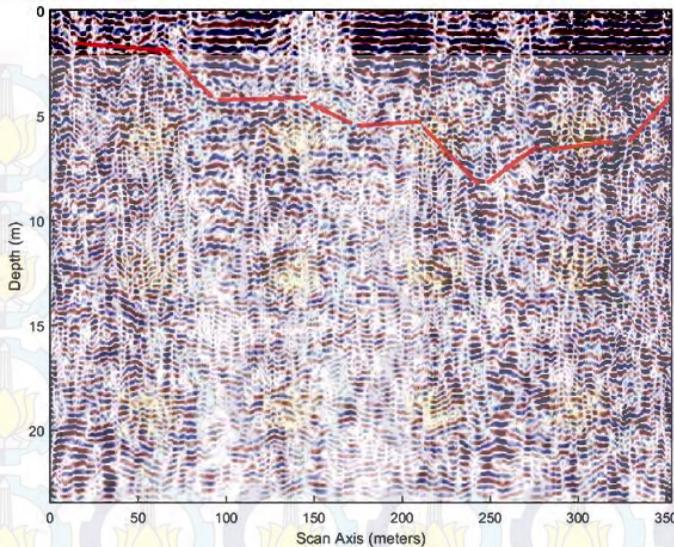


Gambar 4.23 Radargram Hasil Interpretasi Data pada Lintasan II

Pada lintasan ini juga terlihat reflektor yang cukup jelas pada kedalaman antara 0-5 meter, selain itu juga terlihat pola reflektor unik yang kontinu antara kedalaman 2-3 meter yang berlanjut hingga jarak 100 meter yang kemudian akan naik hingga kedalaman sekitar 7 meter dan turun lagi pada jarak sekitar 300 meter. Ini menunjukkan reflektor kontinu memiliki jenis yang sama. Selain itu karakteristik dari reflektor hampir sama dengan lintasan pertama sehingga bisa disimpulkan bahwa zona ini juga merupakan zona rembesan (ditunjukkan oleh garis merah pada gambar). Selain itu pada lintasan ini memiliki zona kompaksi yang cukup berbeda dari lintasan pertama hal ini ditunjukkan oleh tingkat ketajaman warna yang berbeda pada tiap jarak di kedalaman yang sama.

4.2.3 Lintasan III

Pada *line* terakhir ini pola *anomaly* reflektor yang terjadi masih sama dengan yang sebelumnya yaitu berkisar pada kedalaman antara 0-10 meter. Hasil pengolahan data pada lintasan pertama bisa dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Radargram Hasil Interpretasi Data pada Lintasan III

Pada lintasan ini bisa dilihat bahwa *anomaly* yang terjadi berada pada kedalaman sekitar 5 meter dan meningkat pada jarak 200 meter. *Anomaly* ini juga termasuk jenis yang sama dengan lintasan sebelumnya, dimana *anomaly* ini bersifat kontinu sehingga bisa disimpulkan bahwa *anomaly* ini juga merupakan rembesan air yang berada pada tanggul, selain itu jika dilihat pada gambar disitu terlihat bahwa zona kompaksi pada tiap jarak dan kedalaman berada pada posisi yang cukup baik sehingga kondisi tanggul juga bisa disimpulkan masih cukup stabil.



“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan serta analisa data dan pembahasan metode georadar yang telah dilakukan pada lintasan I (P76-77), lintasan II (p78-79), dan lintasan III (p79-83) tanggul lumpur Sidoarjo bisa disimpulkan bahwa:

1. *Anomaly* pada lintasan I, II, dan III tanggul lumpur Sidoarjo merupakan jenis rembesan air, dimana *anomaly* ini berada pada tiap lintasan.
2. Kedalaman *anomaly* yang terjadi yaitu berkisar antara 0-10 meter.
3. Zona kompaksi yang ada pada lintasan 1 dan 3 masih cukup baik sedangkan untuk lintasan 2 sudah mengalami cukup perubahan.

5.2. Saran

Diharapkan dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan tambahan berupa:

1. Penggunaan antenna dengan frekuensi yang lebih tinggi.
2. Perbandingan dengan metode lain demi hasil yang lebih valid.
3. Dapat dimodelkan secara dua dimensi, dimana cara pengambilan data akan dirubah.

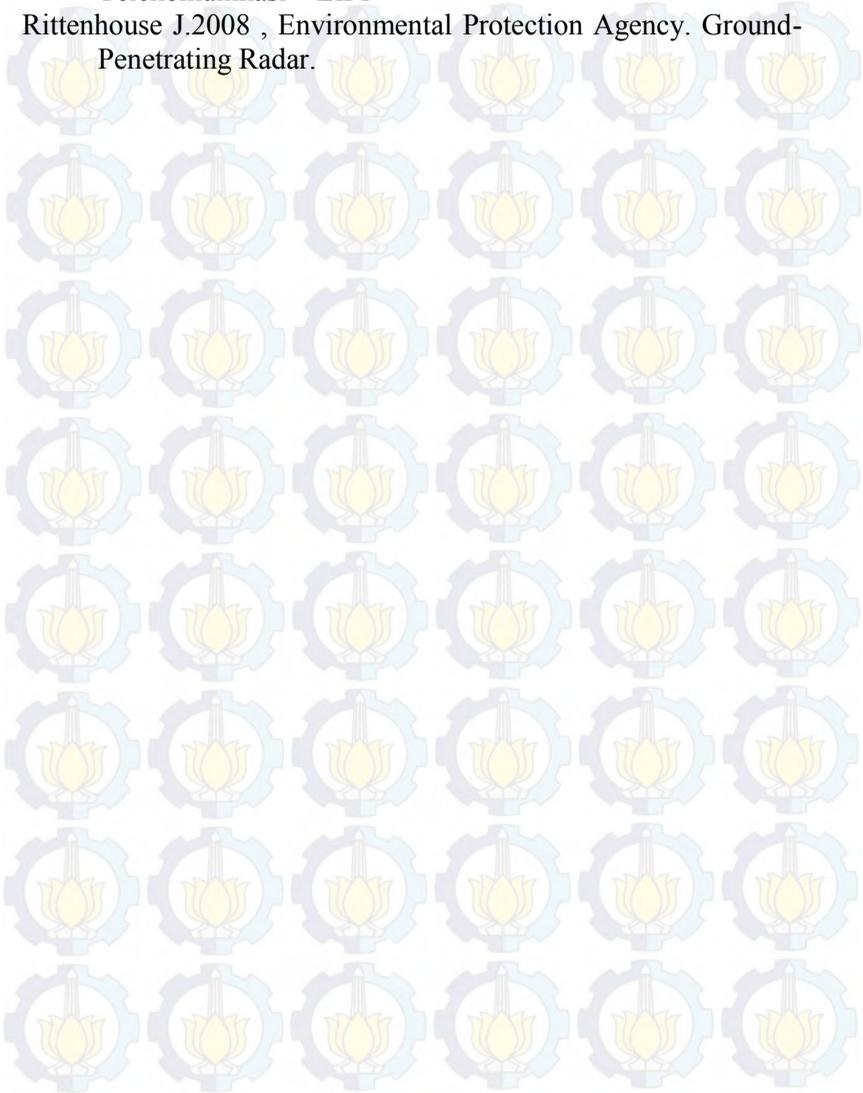


DAFTAR PUSTAKA

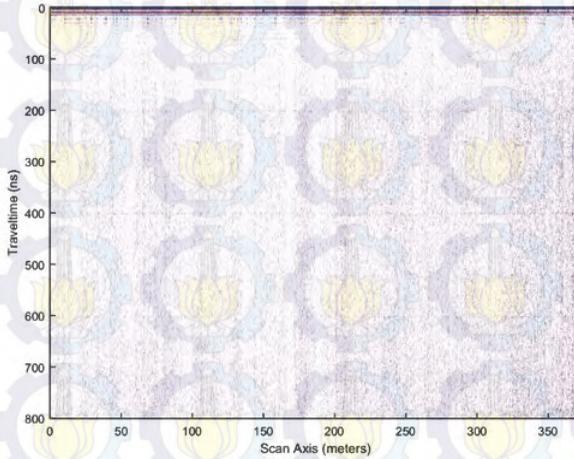
- Ariyanti, Desi., 2002, Interpretasi Bawah Permukaan Daerah sukulilo di Surabaya Timur Dengan Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR), Tugas Akhir ITS, Surabaya.
- Bayong. 2003 .Geosains. Bandung: ITB.
- Benson, R., and R. Glaccum. 1979. The application on of ground-penetrating radar to soil surveying. Final Report NASA, Cape Kennedy Space Center, FL. Technos, Inc., Miami, FL.
- Beres, M., and Haeni, F. P. (1991). Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeologic studies. *Ground Water*, 29(3), 375-386.
- D. J. Daniel., 1996. Surface Penetrating Radar, The Institution of Electrical Engineers.
- Eksplorasi. Depok: Universitas Indonesia. Tjasono Hk, GSSI, Radan Software. 2001. Geophysical Survey System Inc. New Hampshire.
- GSSI, 2007. User manual model 3200 MLF antenna
- GSSI, 2009. User manual SIR-20
- Handoyo, A., 1999, Aplikasi Georadar Untuk jembatan Penyeberangan tol dan Bawah Permukaan Jalan Raya, Tugas Akhir ITB, Bandung.
- Harry M. Jol. 2009. GPR theory and Applications. Elsevier.
- Kustanto, Afifah Rahma, 2015. Gelombang Pada Metode Seismik Dan Ground Penetrating Radar. Program Studi Geofisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran
- L.P. Ligthart, E.E. Ligthart., 2004. Lecture Notes for The Intensive Course on Ground Penetrating Radar.
- Munadi, Suprajitno. 2000. Aspek Fisis Seismologi
- Oktafiani, Folin. Sulistyansih, Yusuf Nur Wijayanto. Sistem Ground Penetrating Radar untuk Mendeteksi Benda-benda

di Bawah Permukaan Tanah. P2 Elektronika dan Telekomunikasi – LIPI

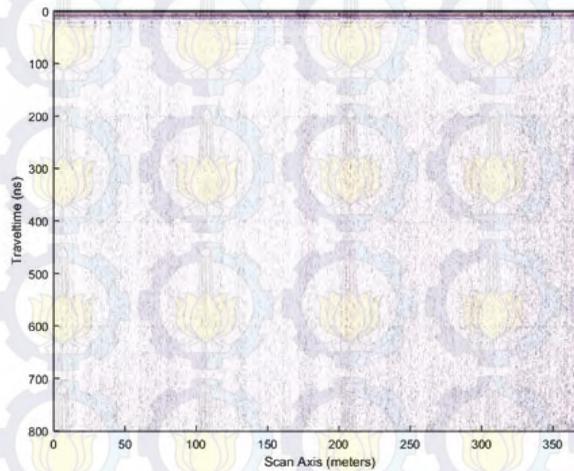
Rittenhouse J.2008 , Environmental Protection Agency. Ground-Penetrating Radar.



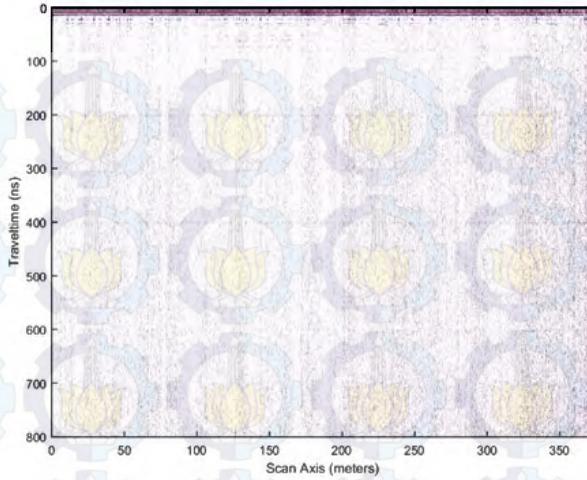
LAMPIRAN A
Pengolahan Data Pada Lintasan I



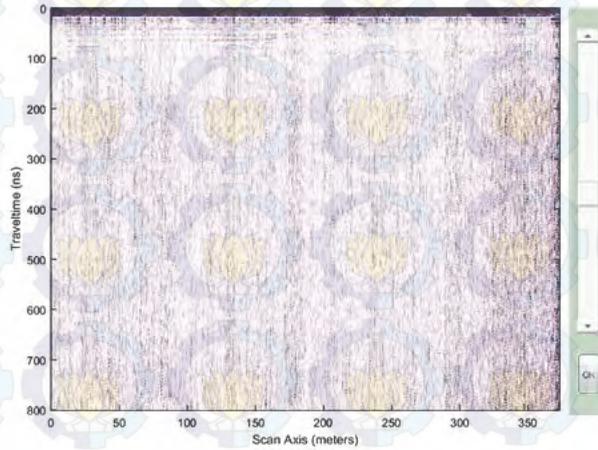
Gambar A. 1 Data Awal Setelah *Edit Marker*



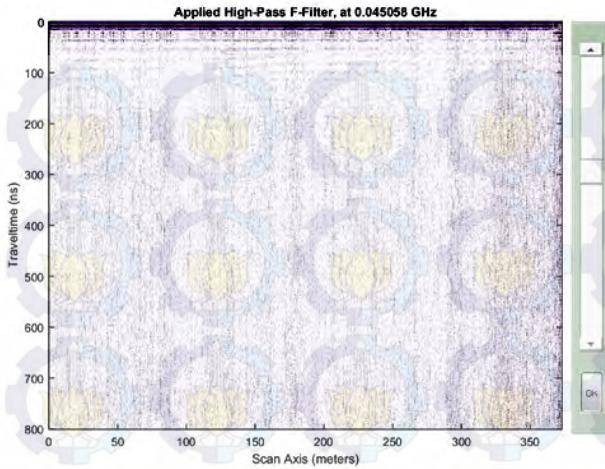
Gambar A.2 *Remove DC*



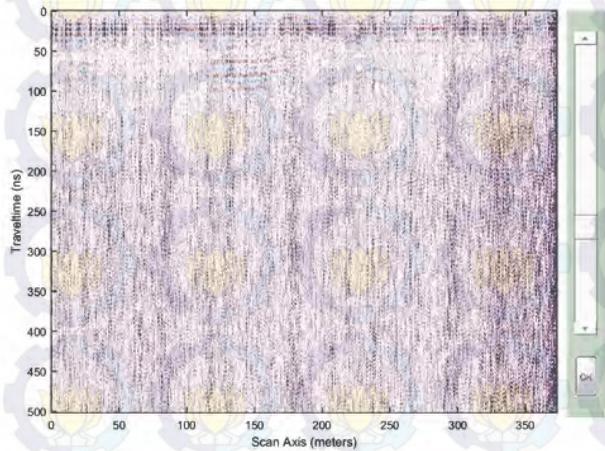
Gambar A.3 Setelah Proses *Dewowing*



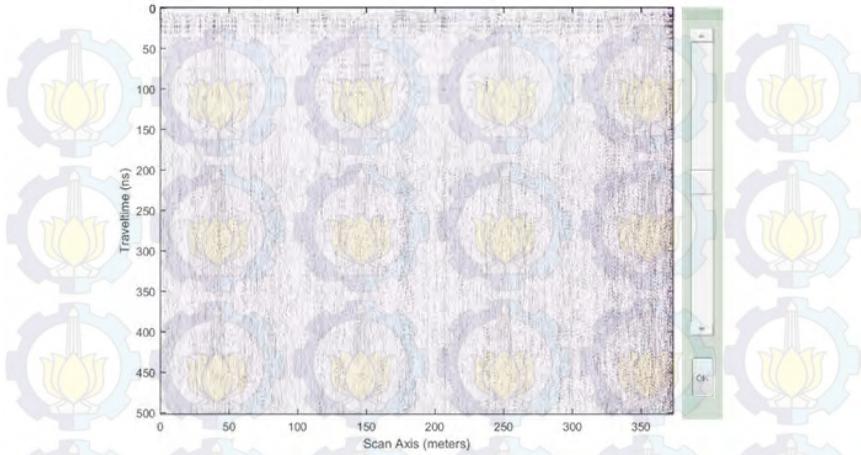
Gambar A.4 Setelah Proses *Filter Lowpass Pertama*



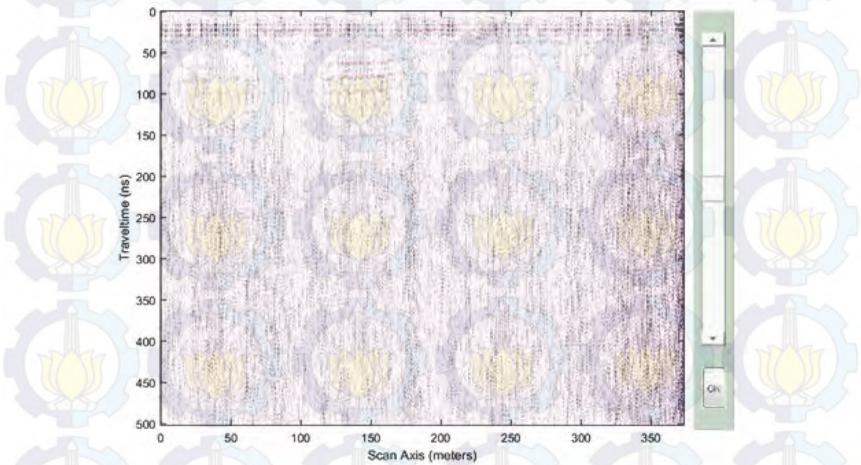
Gambar A.5 Setelah Proses *Highpass Filter* Pertama



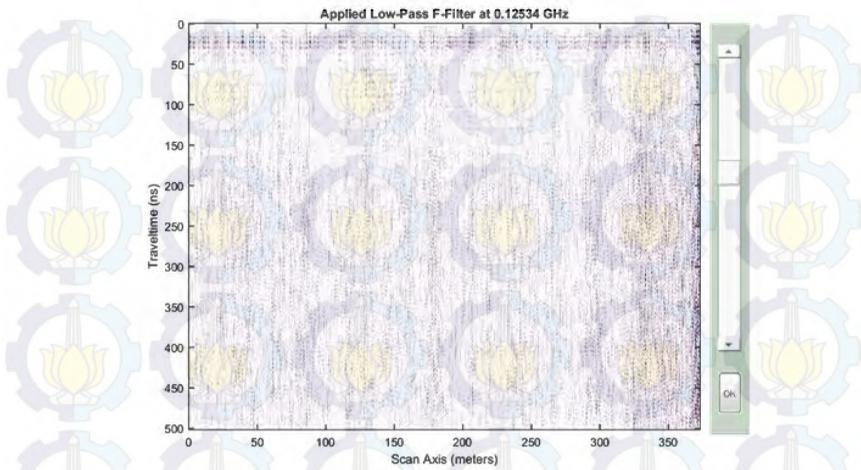
Gambar A.6 Setelah Proses *Trimmed Time Window*



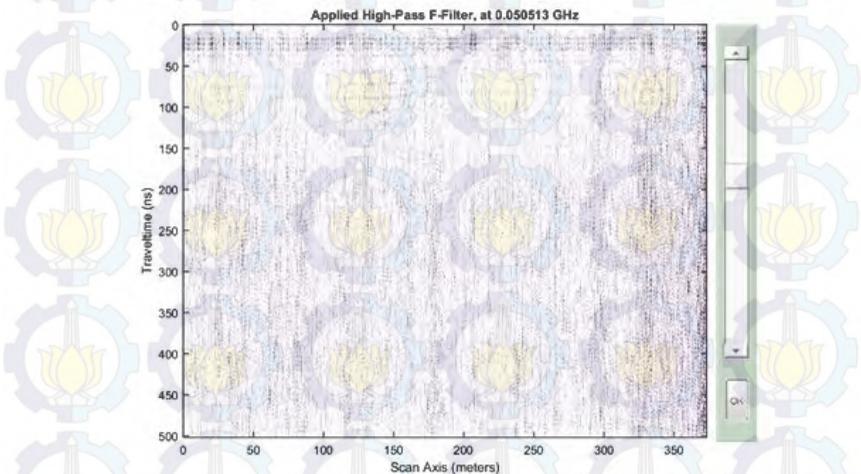
Gambar A.7 Setelah Proses *Background Removal*



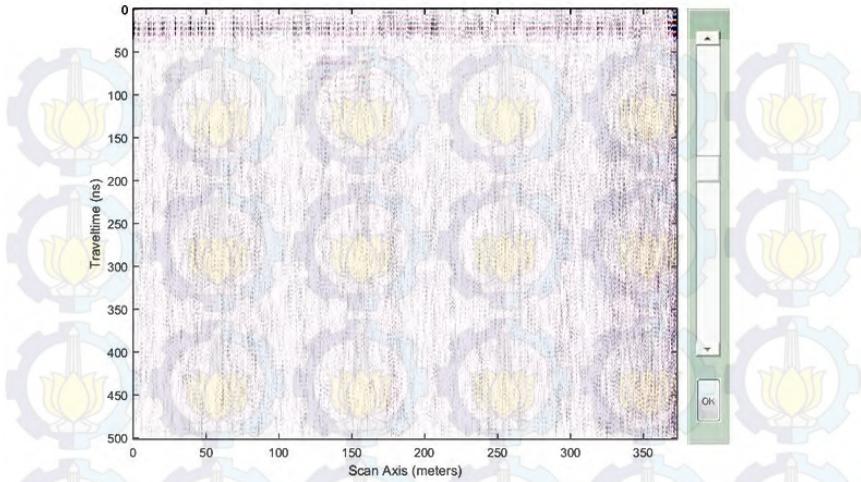
Gambar A.8 Setelah Proses *Bandpass Filter*



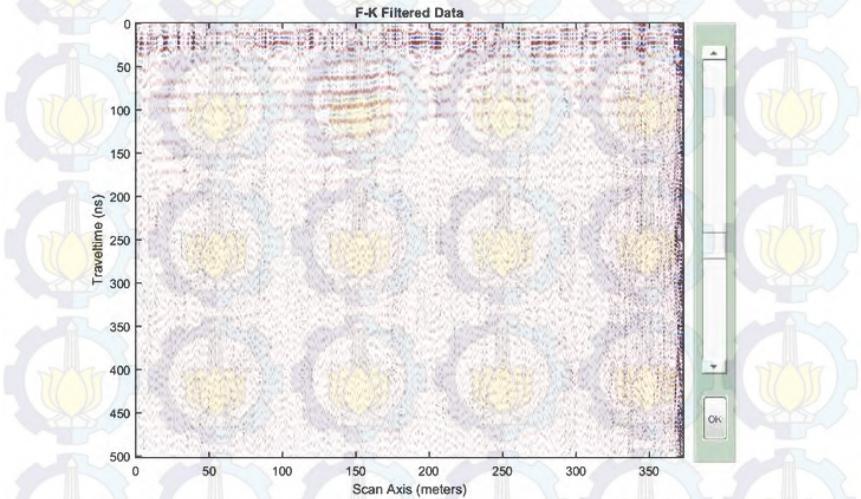
Gambar A.9 Setelah Proses *Lowpass Filter* Kedua



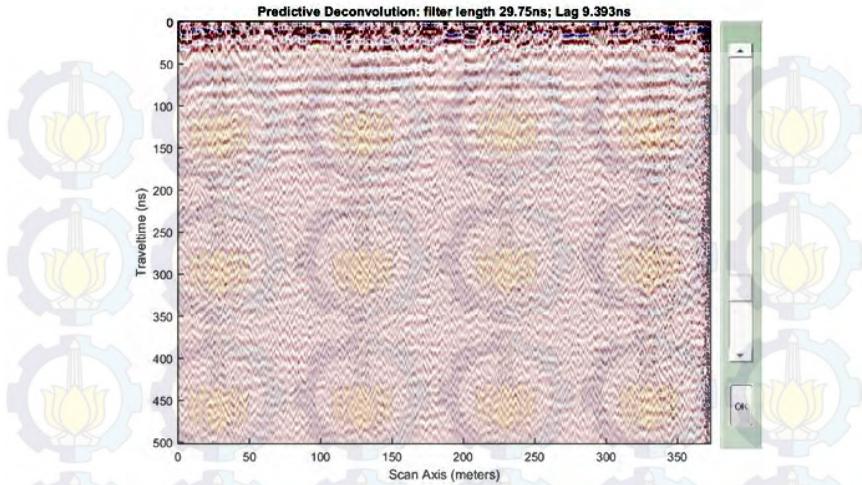
Gambar A.10 Setelah *Highpass Filter* Kedua



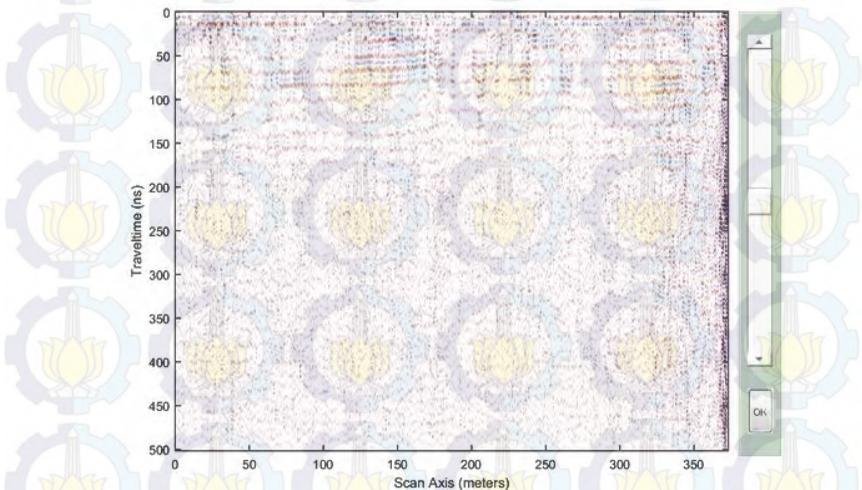
Gambar A.11 Setelah Proses *Inverse Amplitude Decay*



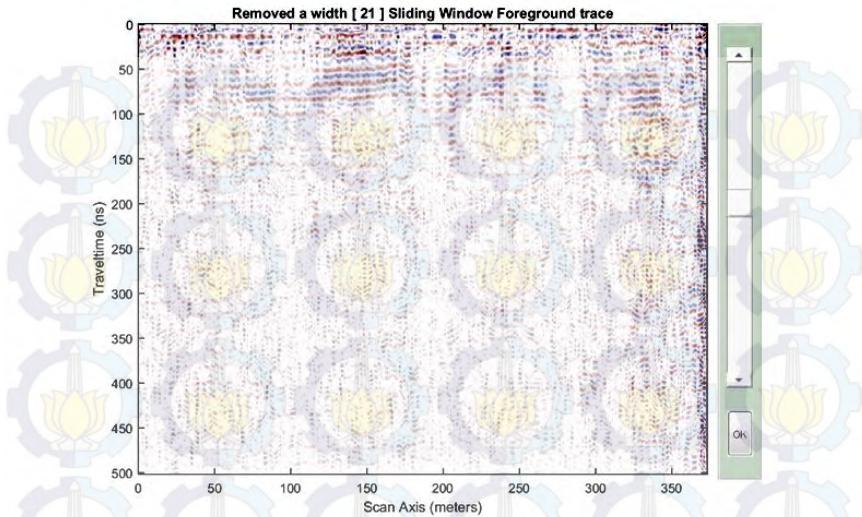
Gambar A.12 FK *Filter*



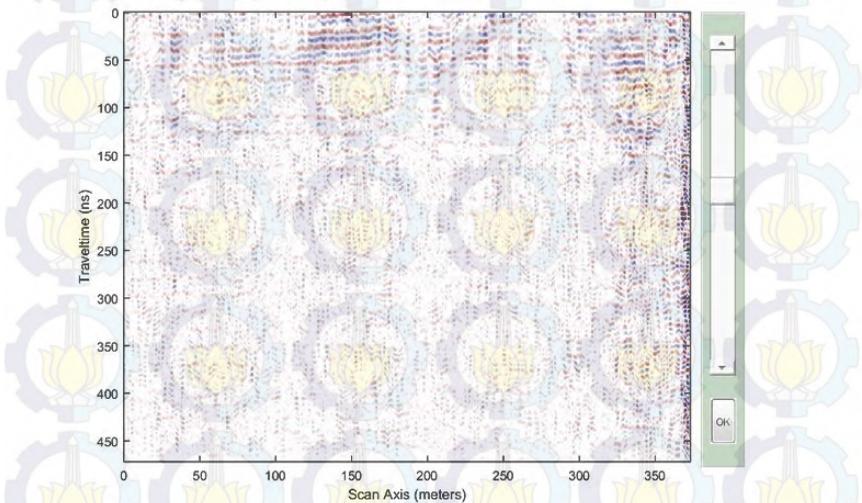
Gambar A.13 Deconvolution



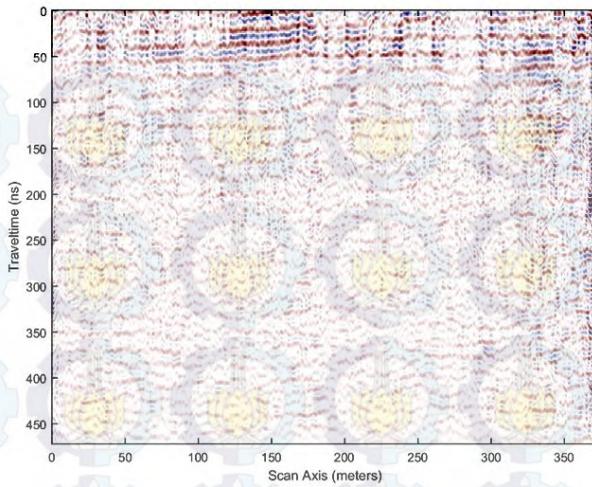
Gambar A.14 KL Filter



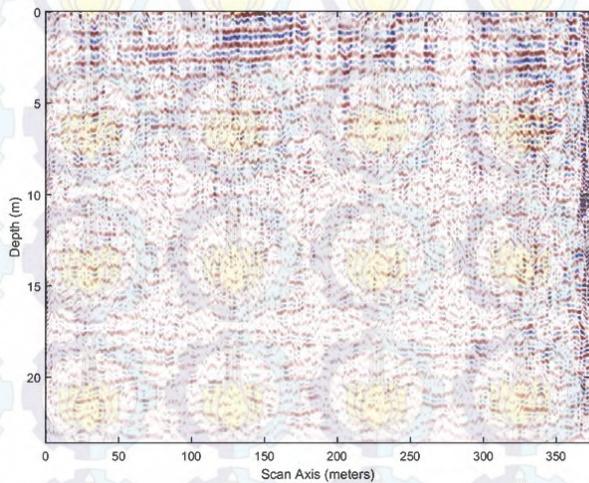
Gambar A.15 Setelah Proses *Suppress Dipping*



Gambar A.16 Setelah Proses *Adjust Signal Position*



Gambar A.17 Setelah Proses Migrasi



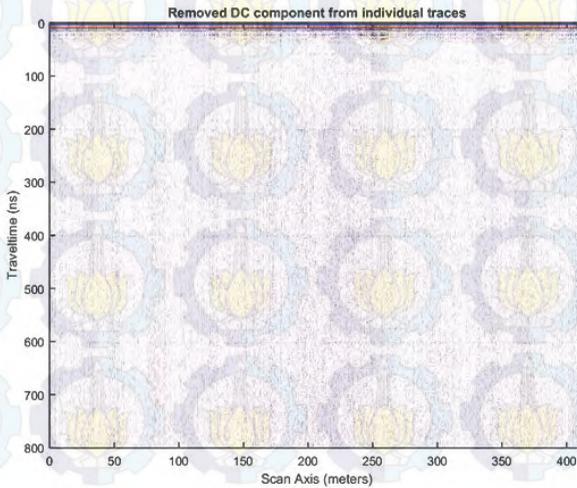
Gambar A.18 Setelah Proses *Time to depth conversion*

LAMPIRAN B

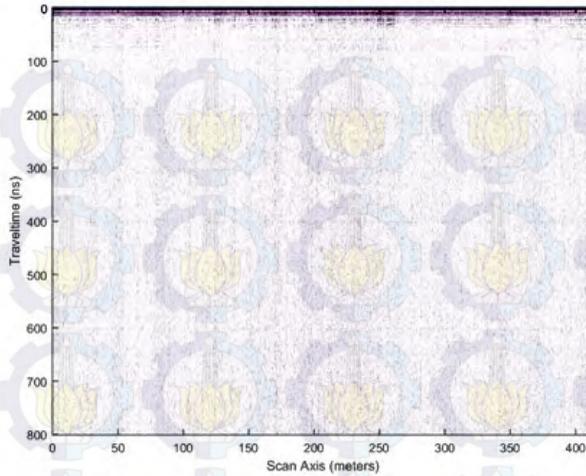
Pengolahan Data Pada Lintasan II



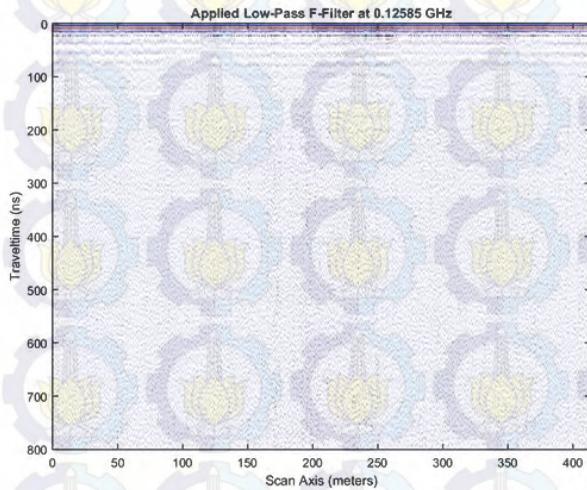
Gambar B.1 Data Mentah Setelah *Edit Marker*



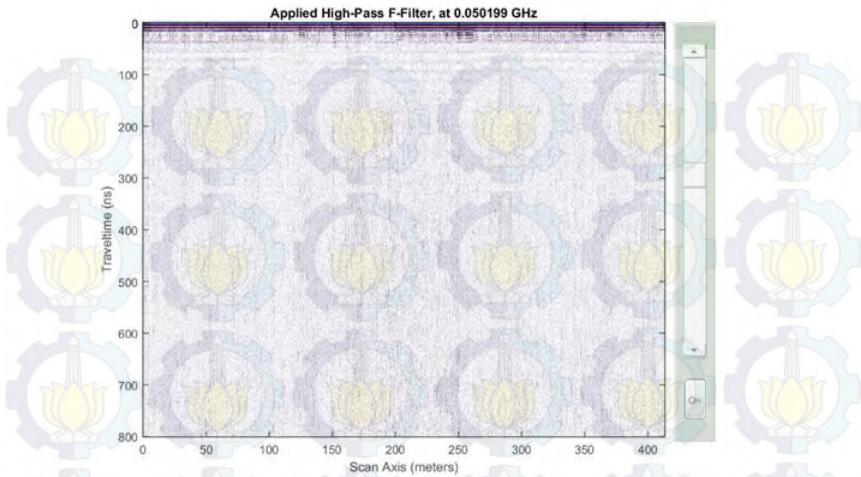
Gambar B.2 Setelah Proses *Remove DC*



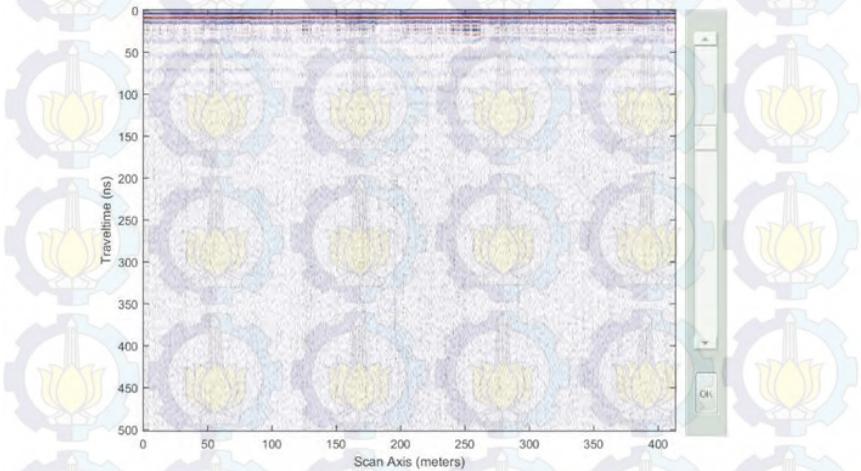
Gambar B.3 Setelah Proses *Dewow*



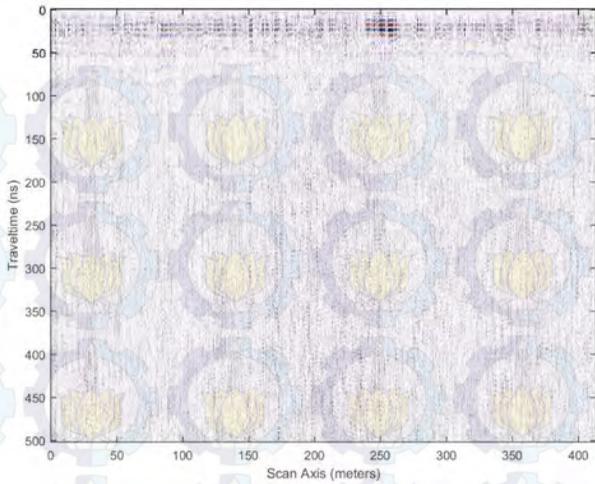
Gambar B.4 Setelah Proses *Lowpass Filter* Pertama



Gambar B.5 Setelah Proses *Highpass Filter* Pertama

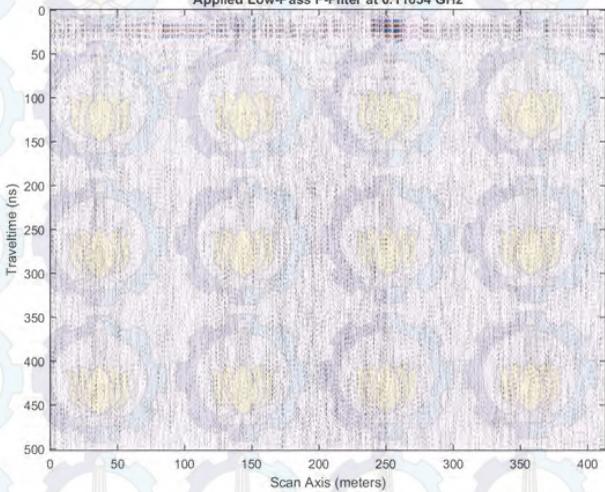


Gambar B.6 Setelah Proses *Trimmed Time Window*

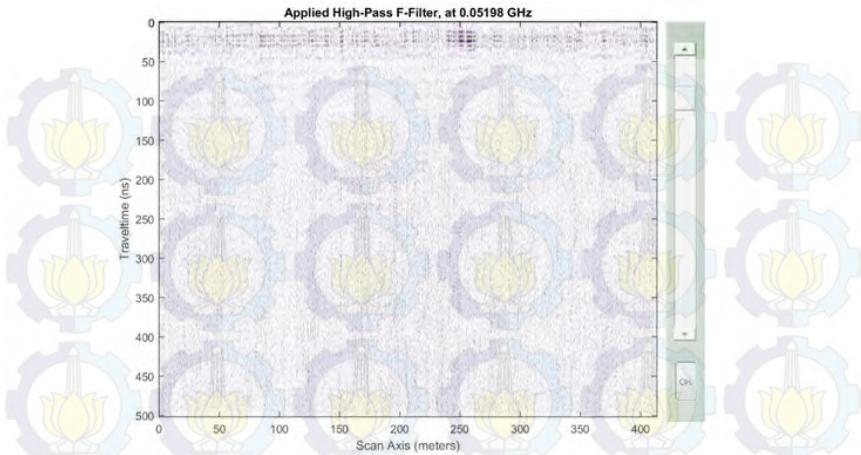


Gambar B.7 Setelah Proses *Background Removal*

Applied Low-Pass F-Filter at 0.11654 GHz



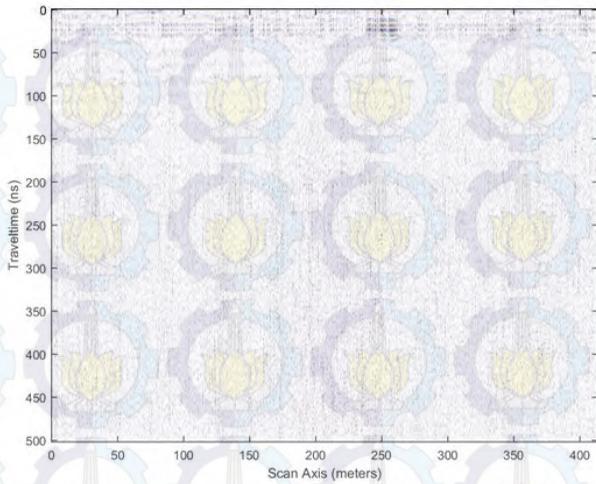
Gambar B.8 Setelah Proses *Lowpass Filter Kedua*



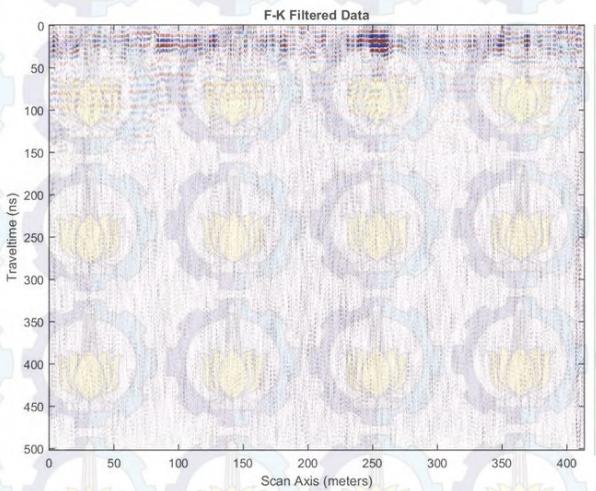
Gambar B.9 Setelah Proses *Highpass Filter* Kedua



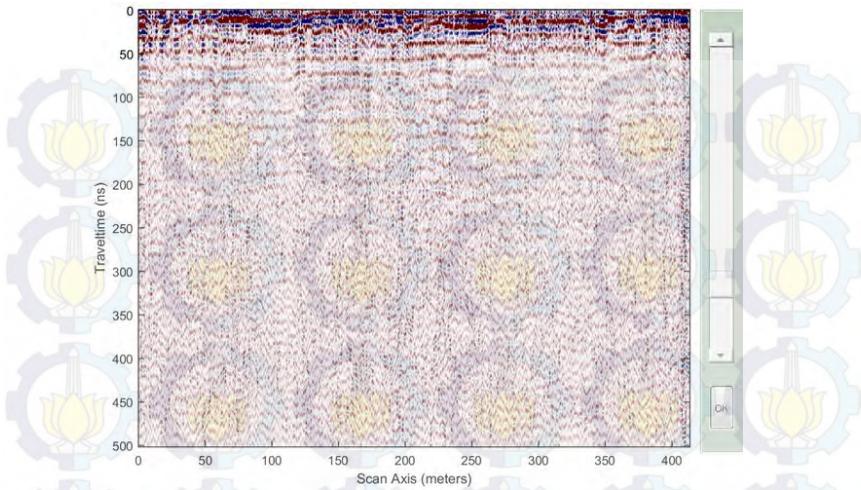
Gambar B.10 Setelah Proses *Bandpass Filter*



Gambar B.11 Setelah Proses *Inverse Amplitude Decay*

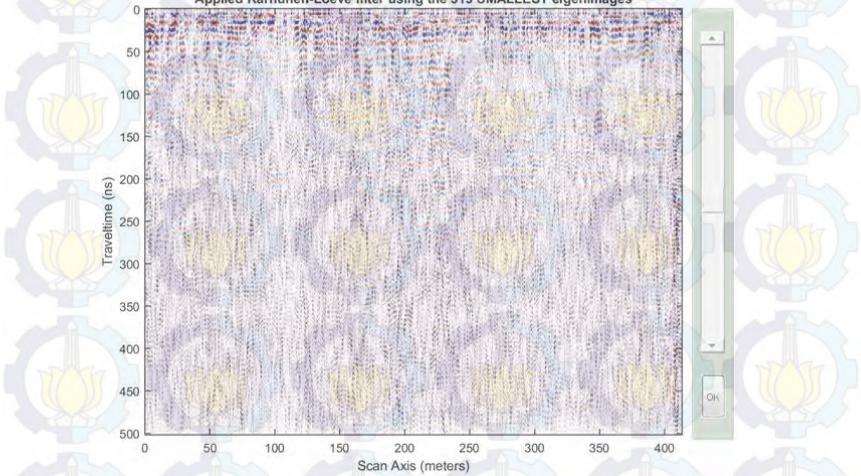


Gambar B.12 FK Filter

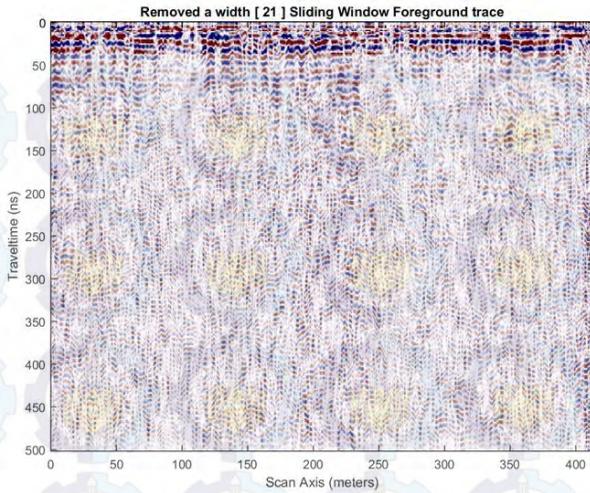


Gambar B.13 Setelah Proses *Deconvolution*

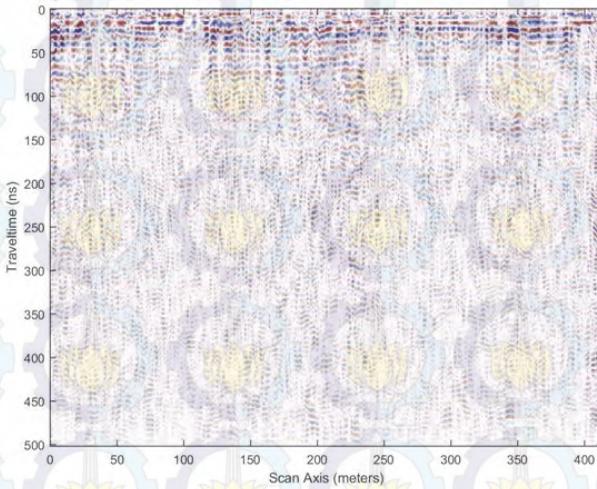
Applied Karhunen-Loeve filter using the 319 SMALLEST eigenimages



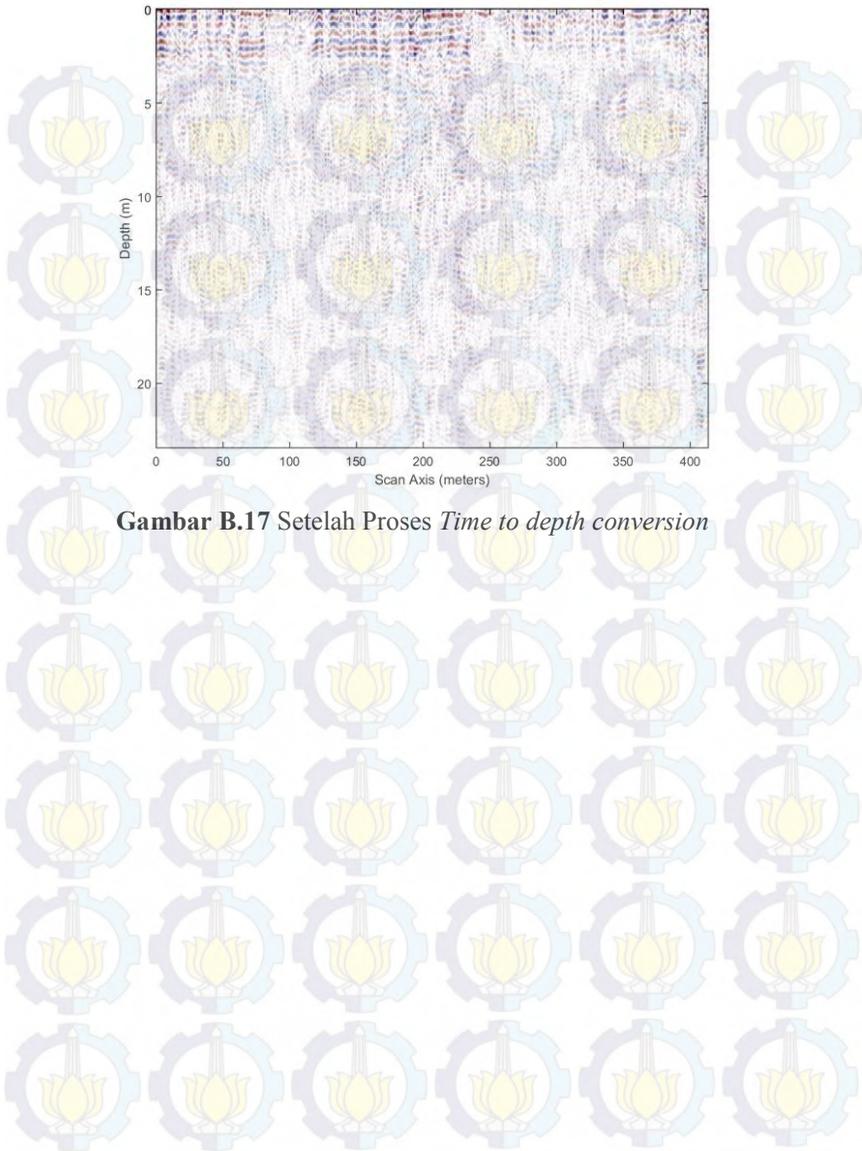
Gambar B.14 KL Filter



Gambar B.15 Setelah Proses *Suppress Dipping*

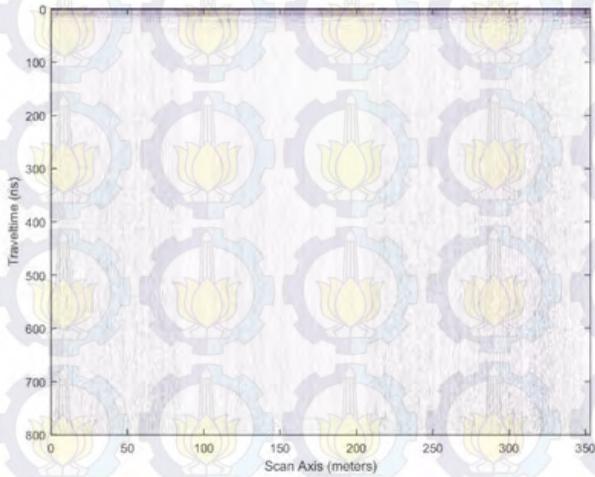


Gambar B.16 Setelah Proses Migrasi

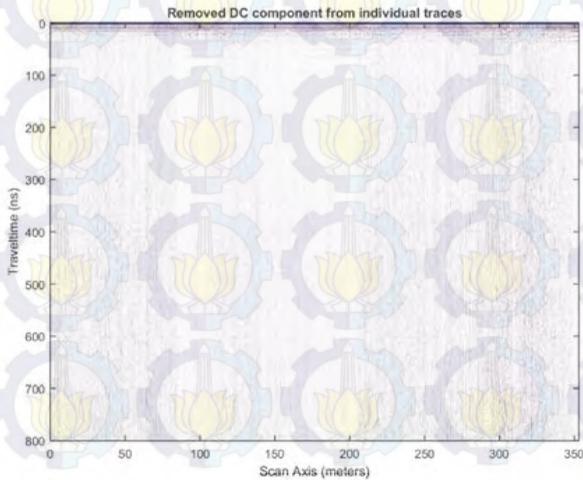


Gambar B.17 Setelah Proses *Time to depth conversion*

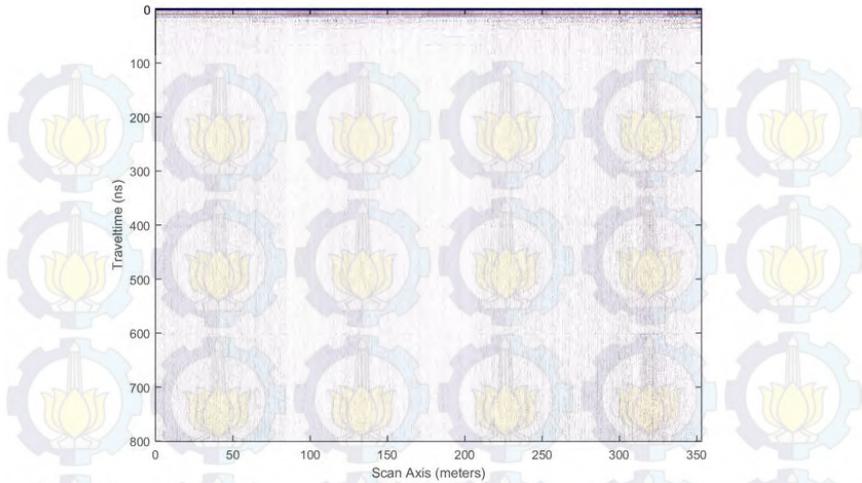
LAMPIRAN C
Pengolahan Data Pada Lintasan III



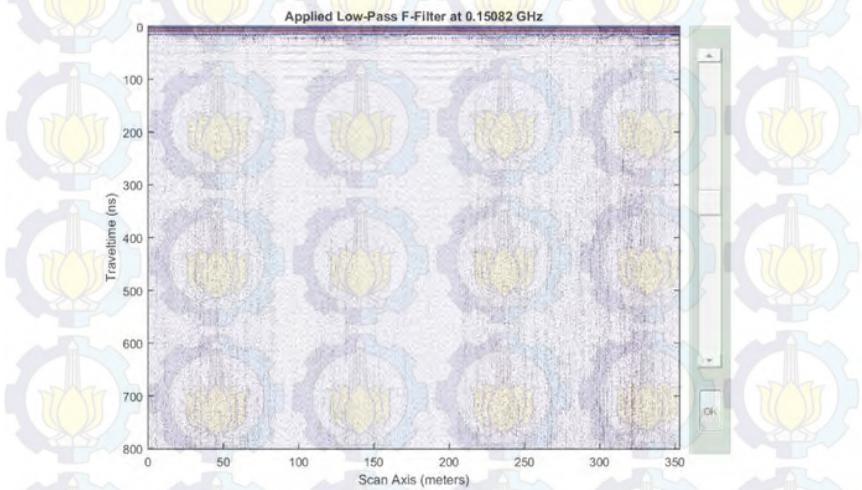
Gambar C.1 Data Mentah Setelah *Edit Marker*



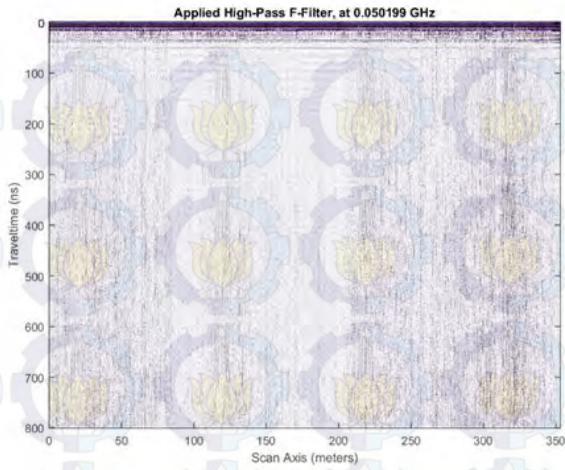
Gambar C.2 Setelah *Remove DC*



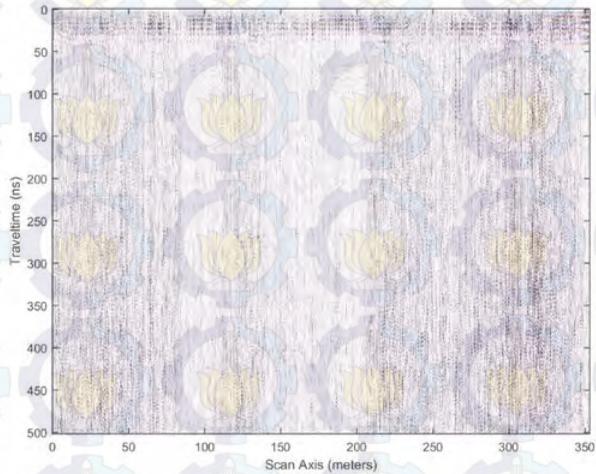
Gambar C.3 Setelah Proses *Dewow*



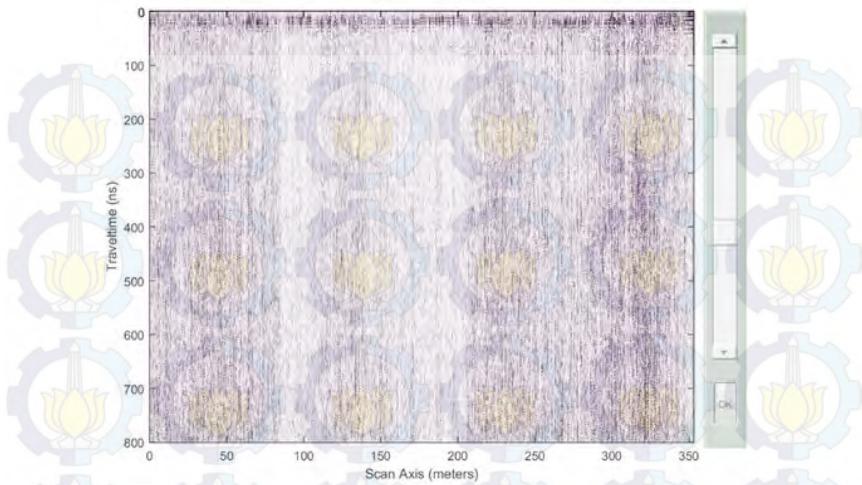
Gambar C.4 Setelah Proses *Lowpass Filter*



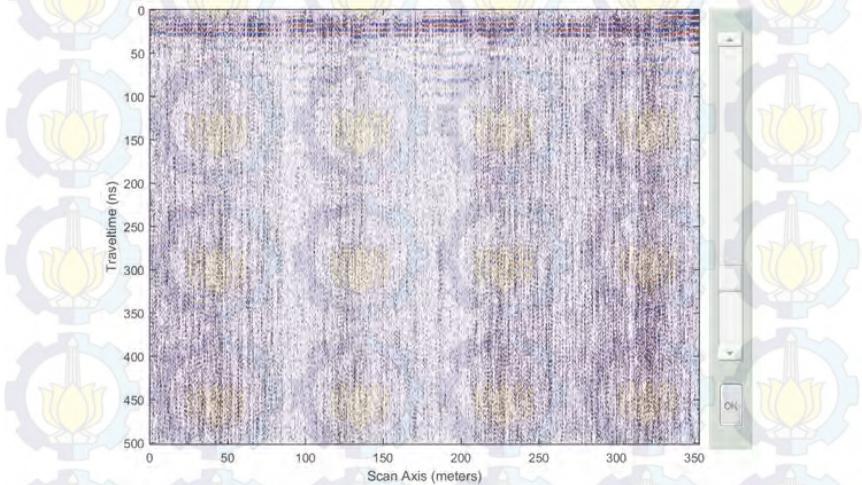
Gambar C.5 Setelah Proses *Highpass Filter*



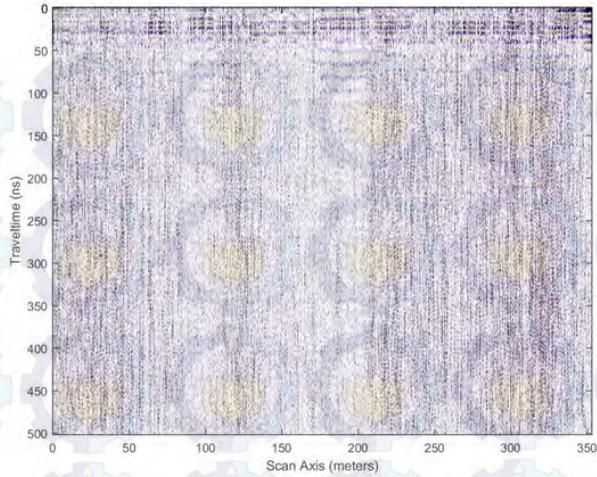
Gambar C.6 Setelah Proses *Trimmed time Window*



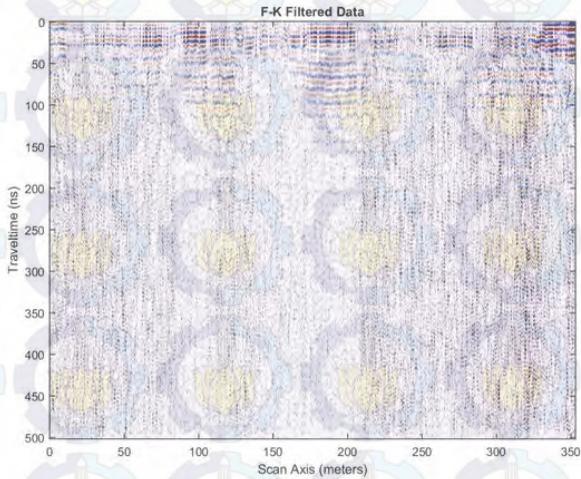
Gambar C.7 Setelah Proses *Background Removal*



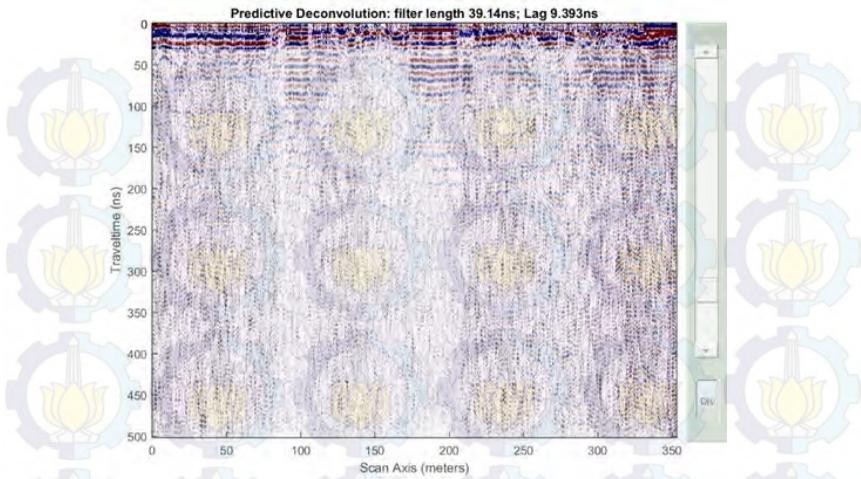
Gambar C.8 Setelah Proses *Bandpass Filter*



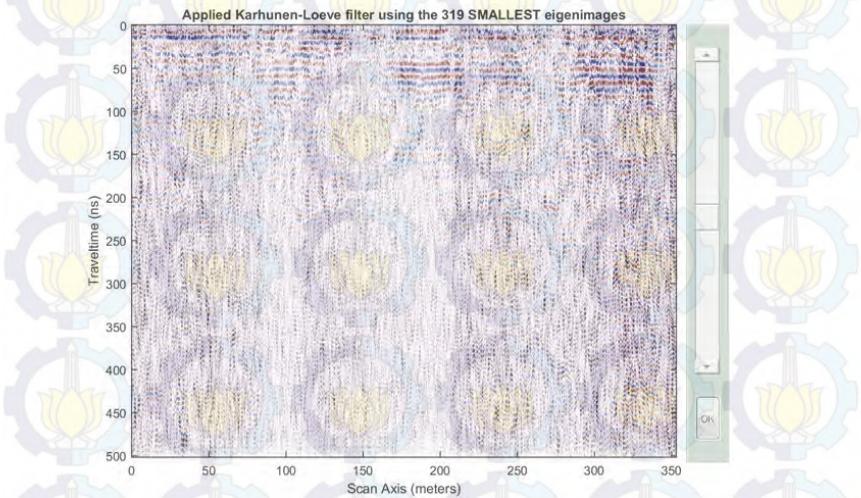
Gambar C.9 *Inverse Amplitude decay*



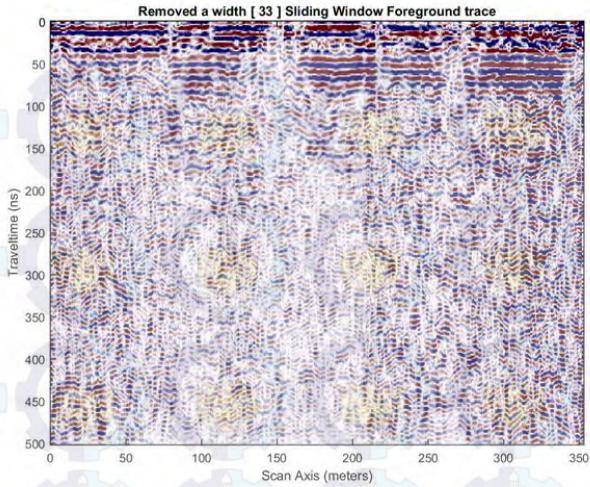
Gambar C.10 *FK Filter*



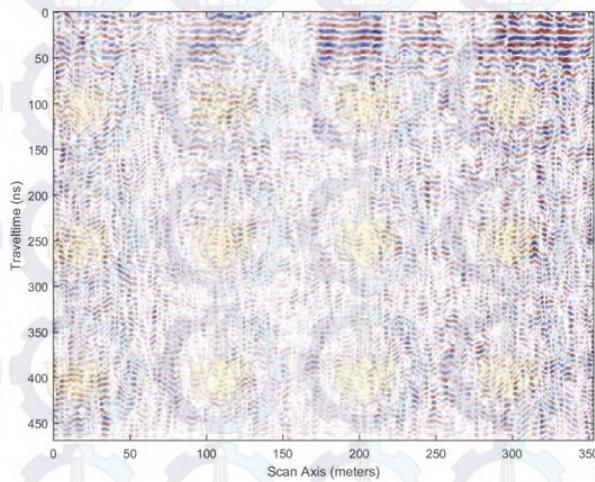
Gambar C.11 Setelah Proses *Deconvolution*




Gambar C.12 KL Filter




Gambar C. 13 Setelah Proses *Suppress dipping*



Gambar C.14 Setelah Proses *Adjust Signal Position*



Gambar C.15 Setelah Proses Migrasi



Gambar C.16 *Time to Depth Conversion*

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 14 Agustus 1992, merupakan anak ke empat dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Flamboyan II, SDN Sukoanyar II, SMPN I Turi dan SMAN 2 Sukodadi. Setelah Lulus dari SMAN 1 Sukodadi tahun 2010, Penulis sempat vakum dalam dunia pendidikan hingga tahun berikutnya penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP.

1111100069.

Di jurusan Fisika Penulis mengambil Bidang Studi Geofisika. Penulis sempat aktif di beberapa organisasi antara lain Himpunan Mahasiswa Fisika ITS Sebagai Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa, dan *Student Chapter American Association of Petroleum Geologist* (AAPG). Selain itu Penulis juga aktif sebagai Asisten Praktikum Fisika Dasar.