



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMETAAN BATUAN DASAR SUNGAI DENGAN
MENGUNAKAN METODE GROUND PENETRATING
RADAR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

**ABDUL SYUKUR
0304020035**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

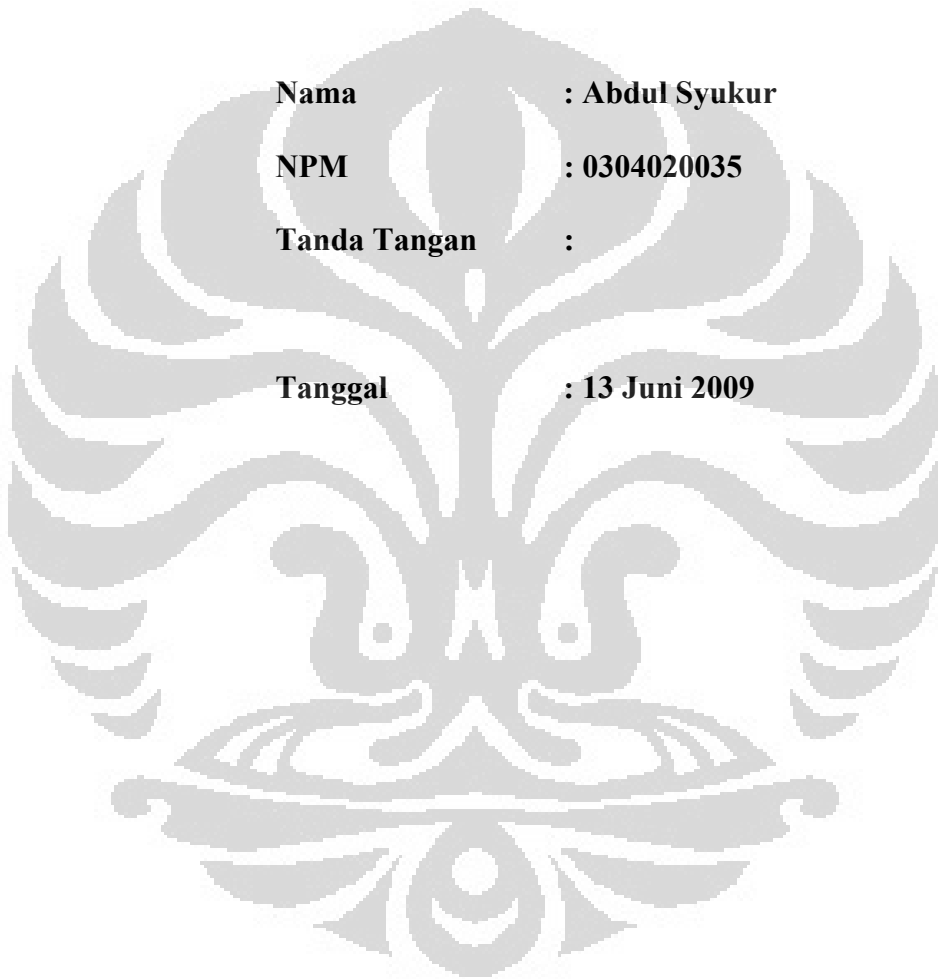
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Abdul Syukur

NPM : 0304020035

Tanda Tangan :

Tanggal : 13 Juni 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Abdul Syukur
NPM : 0304020035
Program Studi : Geofisika
Judul Skripsi : **PEMETAAN BATUAN DASAR SUNGAI
DENGAN MENGGUNAKAN METODE
GROUND PENETRATING RADAR**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Syamsu Rosid ()
Penguji I : Dr. ABD Haris ()
Penguji II : Ir. Anggoro, MT ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 13 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME karena berkat dan anugerahnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pemetaan Batuan Dasar Sungai Dengan Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar”** tepat pada waktunya. Penulisan tugas akhir ini ditulis sebagai salah satu syarat kelulusan program peminatan Geofisika Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang sangat berperan dalam penulisan ini kepada:

1. Bapak Dr. Syamsu Rosid, selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran, dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Agustiar, Ssi. selaku Kepala Biro Geofisika dan Pengukuran Unit Geomin, PT Aneka Tambang Tbk. yang telah memberikan bimbingan, nasehat, sarana dan prasarana selama penulisan tugas akhir.
3. Bapak M. Akbar, *geophysicist* PT. Antam yang telah meluangkan waktu di tengah-tengah kesibukannya untuk membimbing dan mengajari penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Rekan-rekan di PT. Aneka Tambang Tbk. khususnya Unit Geomin, Pak Joko, Uhi, Sudhadmono, Cipto, Yanto, Bambang, Karman, Tukijan, Nardi dan Mba Irin, atas segala bimbingan, diskusi dan fasilitas yang telah diberikan.
5. Orang tua, kakak, dan keluarga tercinta yang terus memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Rekan-rekan fisika Henry, Krismansyah, Jimmy, Rendy, Anton, Satria, Maliyan dan semua (Fis' 04) yang telah banyak memberikan semangat dan saran kepada penulis.
7. Rekan-rekan yang sama-sama mengerjakan tugas akhir semester ini yang telah memberikan banyak informasi yang berhubungan dengan penyelesaian tugas akhir ini.

8. Staf tata usaha Departemen fisika, Mba Ratna dan Pak Mardy atas bantuannya dalam mengurus administrasi semasa kuliah terutama saat penyusunan skripsi ini.
9. Semua Dosen di Departemen Fisika yang selama masa perkuliahan telah banyak memberikan ilmu dan nasehat kepada penulis.
10. Sahabat-sahabat penulis yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
11. Dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan.

Jakarta, 13 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdul Syukur
NPM : 0304020035
Program Studi : Geofisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PEMETAAN BATUAN DASAR SUNGAI DENGAN MENGGUNAKAN
METODE GROUND PENETRATING RADAR**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 13 Juni 2009
Yang menyatakan

(Abdul Syukur)

ABSTRAK

Metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* telah diaplikasikan untuk memetakan batuan dasar sungai di Kalimantan. Prinsip kerja metode ini didasarkan pada perbedaan konstanta dielektrik pada batas lapisan. Data yang digunakan terdiri dari 4 line. Data ini diolah dengan menggunakan *software* radan. Hasil pengolahan data ini digunakan untuk interpretasi zona-zona yang berhubungan dengan dasar sungai, lapisan alluvial, dan bedrock. Didukung oleh data geologi regional, hasil pengukuran GPR menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh batuan vulkanik yang merupakan batuan dasar sungai. Berdasarkan hasil interpretasi, kedalaman masing-masing lapisan ini bervariasi pada tiap-tiap line.

Kata kunci : *Ground Penetrating Radar (GPR)*, Sungai, Radan,
Alluvial, Bedrock, Geologi

Daftar Acuan : 8 (1987-2008)

ABSTRACK

The Ground Penetrating Radar (GPR) method has been applied for river bedrock mapping. This method work principle is based on different of dielectric constant in reflector. The data that used consist of 4 line. The data was processed by using radan software. Data processing result is used for zones interpretation that relating with river floor, alluvial layer, and bedrock. Supported with regional geology data, result from GPR data show that the research site is dominated by volcanic rock which is river bedrock. Based on result of interpretation the depth of each layer is vary in each line.

Key Word : Ground Penetrating Radar (GPR), River, Radan, Alluvial, Bedrock, Geology

References : 8 (1987-2008)

DAFTAR ISI

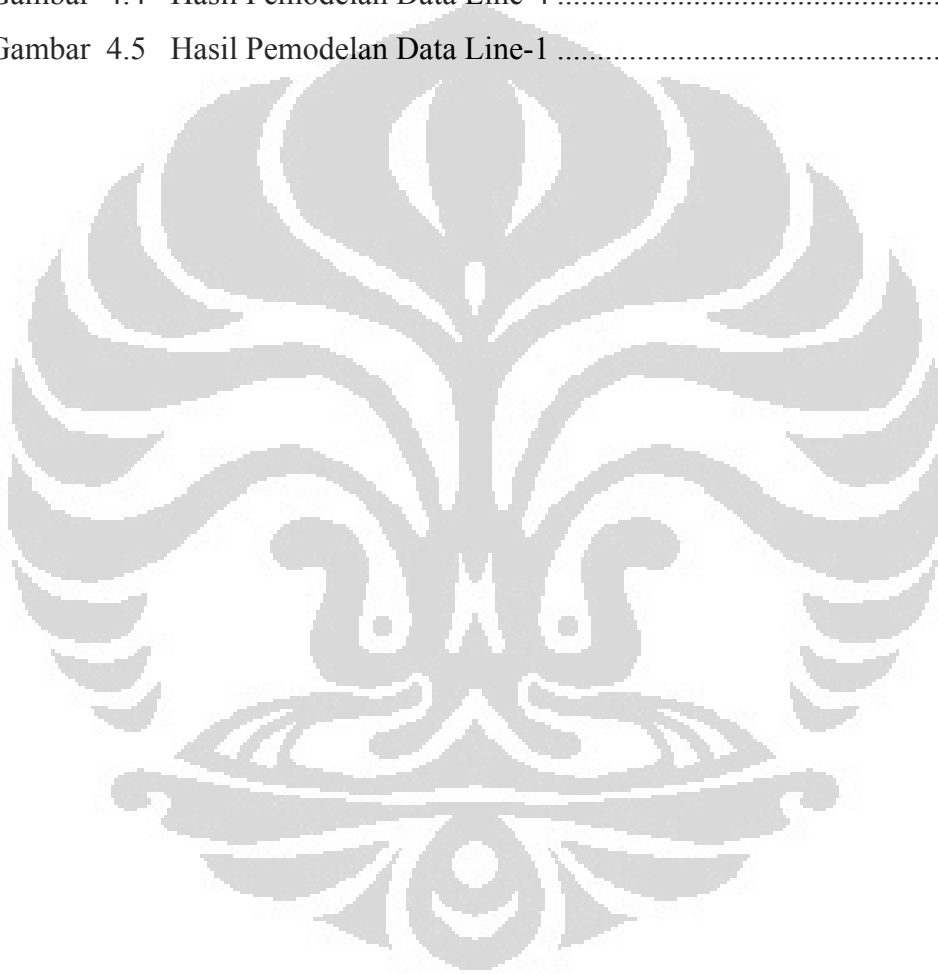
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	3
1.3 Ruang Lingkup Masalah	3
1.4 Metode Penelitian	4
1.5 Waktu dan Tempat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TEORI DASAR	7
2.1 Persamaan Gelombang Elektromagnetik	8
2.2 Persamaan Gelombang Radar	9
2.3 Perambatan Gelombang Radar dalam Tanah	10
2.4 Sifat Dielektrik Material Bumi.....	13
2.5 Metode pengukuran GPR	14
2.5.1 Radar Reflection Profilling	14
2.5.1.1 Frekuensi Tengah Antena	15
2.5.1.2 Jendela Waktu	16
2.5.1.3 Sampling Interval.....	16
2.5.1.4 Jarak Antar Antena.....	16
2.5.1.5 Lintasan dan Koordinat Pengukuran.....	17

2.5.2 CMP dan WARR Velocity Sounding	17
2.5.3 Transillumination atau Radar Tomography	18
2.6 Geologi Regional Daerah Penelitian	18
BAB III DATA DAN PENGOLAHAN DATA.....	20
3.1 Data Lapangan	20
3.2 Pengolahan Data.....	24
3.2.1 Distance Normalization.....	24
3.2.2 Penguatan Amplitudo.....	24
3.2.3 Filtering Data	25
3.2.4 Deconvolution.....	25
3.2.5 Koreksi Posisi	26
BAB IV INTERPRETASI DAN ANALISIS DATA	37
4.1 Interpretasi Data.....	37
4.1.1 Data Geologi.....	37
4.1.2 Data GPR.....	38
4.2 Analisis Data Keseluruhan.....	43
BAB V KESIMPULAN	45
3.1 Kesimpulan.....	45
3.1 Saran.....	45
REFERENSI	

DAFTAR GAMBAR

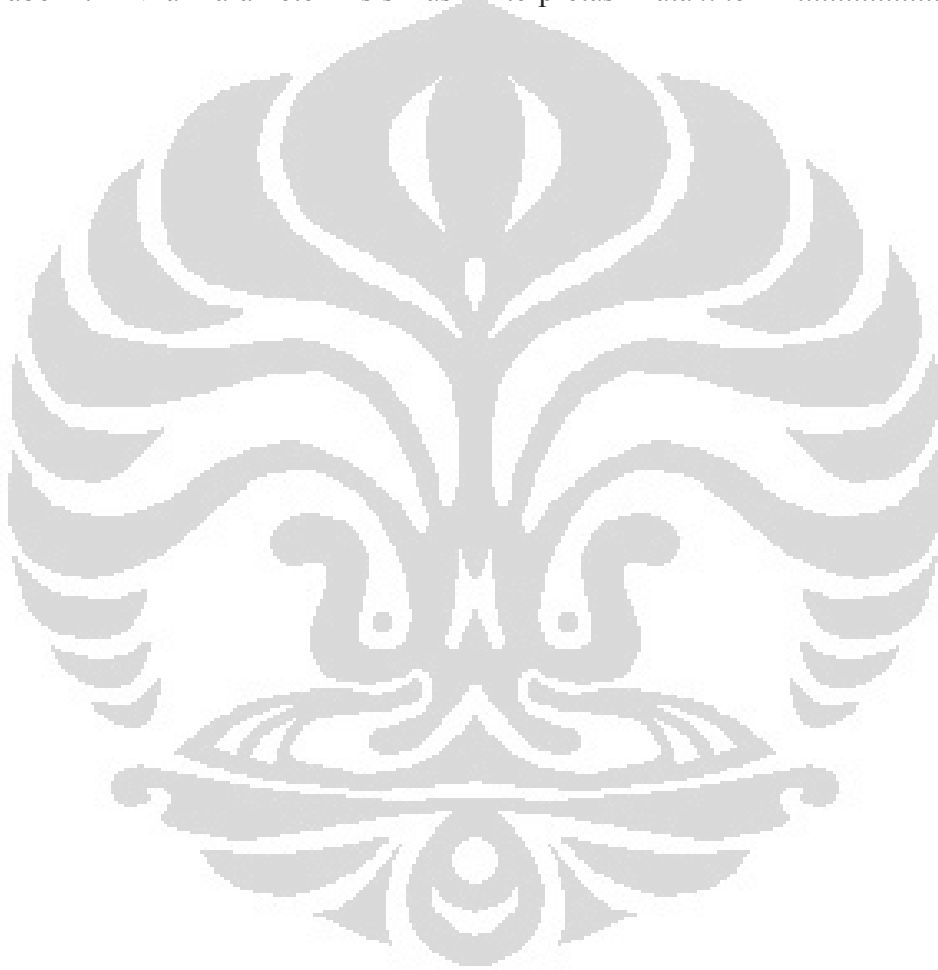
Gambar 1.1	Proses Akusisi Metode GPR di Sungai.....	2
Gambar 1.2	Diagram Alur Kerja Penelitian.....	5
Gambar 2.1	Prinsip Kerja GPR.....	7
Gambar 2.2	Gambaran Sederhana dari Resolusi Vertikal dan Lateral	13
Gambar 2.3	Konfigurasi <i>Radar Reflection Profiling</i>	15
Gambar 2.4	Konfigurasi Common Mid-Point	17
Gambar 2.5	Konfigurasi Wide Angle Reflection and Refraction.....	18
Gambar 2.6	Konfigurasi Transillumination	18
Gambar 2.7	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian	19
Gambar 3.1	Peta Lintasan Pengukuran	21
Gambar 3.2a	Data Lapangan Line-1	22
Gambar 3.2b	Data Lapangan Line-2.....	23
Gambar 3.2c	Data Lapangan Line-3	23
Gambar 3.2d	Data Lapangan Line-4.....	23
Gambar 3.3a	Data Hasil Proses Distance Normalization Line-1	27
Gambar 3.3b	Data Hasil Proses Distance Normalization Line-2.....	28
Gambar 3.3c	Data Hasil Proses Distance Normalization Line-3.....	28
Gambar 3.3d	Data Hasil Proses Distance Normalization Line-4.....	28
Gambar 3.4a	Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-1	29
Gambar 3.4b	Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-2.....	30
Gambar 3.4c	Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-3	30
Gambar 3.4d	Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-4.....	30
Gambar 3.5a	Data Hasil Proses Filtering Data Line-1	31
Gambar 3.5b	Data Hasil Proses Filtering Data Line-2	32
Gambar 3.5c	Data Hasil Proses Filtering Data Line-3.....	32
Gambar 3.5d	Data Hasil Proses Filtering Data Line-4	32
Gambar 3.6a	Data Hasil Proses Deconvolution Line-1	33
Gambar 3.6b	Data Hasil Proses Deconvolution Line-2	34
Gambar 3.6c	Data Hasil Proses Deconvolution Line-3	34
Gambar 3.6d	Data Hasil Proses Deconvolution Line-4	34

Gambar 3.7a Data Hasil Proses Koreksi Posisi Line-1.....	35
Gambar 3.7b Data Hasil Proses Koreksi Posisi Line-2.....	36
Gambar 3.7c Data Hasil Proses Koreksi Posisi Line-3.....	36
Gambar 3.7d Data Hasil Proses Koreksi Posisi Line-4.....	36
Gambar 4.1 Model Perlapisan di Sungai.....	37
Gambar 4.2 Hasil Pemodelan Data Line-2	39
Gambar 4.3 Hasil Pemodelan Data Line-3	40
Gambar 4.4 Hasil Pemodelan Data Line-4	41
Gambar 4.5 Hasil Pemodelan Data Line-1	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Parameter Fisis Beberapa Material	14
Tabel 2.2 Hubungan Antara Frekuensi Tengah dengan Kedalaman.....	15
Tabel 4.1 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 2	40
Tabel 4.2 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 3	41
Tabel 4.3 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 4	42
Tabel 4.4 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 1	42



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk pencitraan resolusi tinggi struktur dibawah permukaan bumi seperti eksplorasi air tanah dan eksplorasi mineral. Pulsa elektromagnetik yang dipancarkan oleh antena pemancar ke permukaan bumi akan diteruskan, dipantulkan dan dihamburkan oleh batuan di bawah permukaan bumi dan diterima oleh antena penerima. Gelombang elektromagnetik yang biasanya digunakan adalah gelombang radio dengan range frekuensi antara 10 MHz - 1000 MHz.

Gelombang yang dikirimkan oleh transmitter ke dalam tanah akan dipantulkan kembali oleh reflektor ke permukaan akibat adanya perbedaan sifat elektromagnetik seperti konstanta dielektrik dan konduktivitas dengan lingkungan di sekitarnya. Adanya kontras konstanta dielektrik pada batas permukaan menyebabkan gelombang radar akan terpantulkan (terrefleksikan) dan kecepatan gelombang radar sangat bergantung pada konstanta dielektrik dari medium yang dilalui oleh gelombang tersebut (Mussett and Khan, 1993).

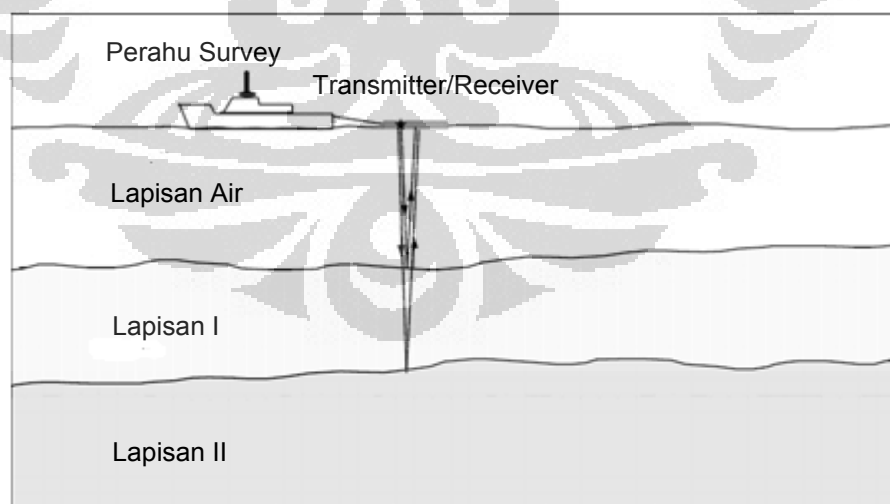
Besarnya penetrasi atau kedalaman yang dapat dicapai oleh gelombang radar sangat bergantung pada besar kecilnya frekuensi yang digunakan. Semakin kecil frekuensi yang digunakan, maka akan semakin besar penetrasi yang dapat dicapai oleh gelombang radar dan sebaliknya. Ketika gelombang radar dipancarkan dari transmitter akan menghasilkan gelombang refleksi dengan amplitudo yang berbeda-beda. Amplitudo gelombang refleksi yang terekam di receiver bergantung pada sifat elektromagnetik dari benda yang ada di bawah permukaan yang dilewati oleh gelombang radar. Sifat elektromagnetik dari berbagai material yang ada di bawah permukaan sangat berhubungan pada komposisi mineral dan kandungan air yang dimiliki material tersebut. Keduanya merupakan pengontrol utama dari kecepatan dan atenuasi yang terjadi dalam perambatan gelombang radar melalui material tersebut (Reynolds, 1997).

Ketika gelombang radar yang ditransmisikan dari *transmitter* mengenai suatu benda atau material di bawah permukaan yang memiliki konduktivitas yang tinggi, maka amplitudo gelombang yang terekam di *receiver* akan sangat kecil. Hal ini disebabkan gelombang yang ditransmisikan diserap oleh material yang memiliki konduktivitas yang tinggi (Mussett and Khan, 1993).

Sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR) sudah dikembangkan sejak tahun 1960-an. Awalnya radar digunakan hanya dalam aplikasi geologi. Kemudian tahun 1980-an GPR semakin populer karena GPR dapat digunakan dalam aplikasi arkeologi, rekayasa, dan berbagai macam aplikasi lainnya.

Teknologi radar saat ini sedang menjadi pusat perhatian dalam dunia eksplorasi dangkal (*near surface exploration*). Metode ini merupakan teknik eksplorasi yang relatif baru dibandingkan dengan metoda yang lain, yang manfaatnya telah tersebar luas di berbagai bidang seperti: geologi, konstruksi dan rekayasa, arkeologi, ilmu forensik, masalah lingkungan dan lainnya.

Proses pengambilan data atau akuisisi metode GPR bisa dilakukan di darat maupun sungai. Akuisisi di sungai cukup efektif dalam memetakan dasar sungai dan lapisan *bedrock*, seperti yang terlihat pada Gambar 1.1. Hal ini merupakan salah satu kelebihan metode GPR dibandingkan dengan metode geofisika lainnya.



Gambar 1.1 Ilustrasi proses akuisisi metode GPR di sungai

Selain itu metode GPR mempunyai kelebihan lain, yaitu :

- Biaya operasional lebih murah;

- Pengoperasian alat lebih mudah;
- Frekuensi yang dipergunakan sangat tinggi (MHz) berarti mempunyai resolusi yang sangat tinggi;
- Merupakan metoda *non destructive*.

Penelitian yang dilakukan di sungai ini untuk membantu konstruktor dermaga dalam menentukan kedalaman tiang pancang, yaitu dengan memperkirakan kedalaman lapisan *bedrock*. Selain memperkirakan kedalaman lapisan *bedrock*, penelitian ini dilakukan untuk memetakan kedalaman dasar sungai agar membantu dalam menentukan ukuran perahu yang bisa melewati sungai tersebut.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

- Memahami fenomena penjaralan gelombang elektromagnetik dalam mendeteksi lapisan sedimen, dasar sungai dan lapisan *bedrock*.
- Memahami bagaimana processing data GPR agar didapatkan tampilan yang memudahkan proses interpretasi.
- Memahami cara menginterpretasikan dan menganalisis data GPR yang baik dan benar yang bertujuan untuk mengetahui posisi dasar sungai, agar membantu menentukan ukuran perahu yang bisa melewati sungai tersebut.
- Memperkirakan kedalaman *bedrock* untuk membantu dalam penentuan kedalaman tiang pancang.

1.3 Ruang lingkup masalah

Dalam penulisan skripsi ini penulis menggunakan data GPR yang merupakan hasil pengukuran di daerah Kalimantan Barat kemudian diolah dengan menggunakan *software* “Radan” yang meliputi :

1. Distance normalization

Distance normalization merupakan proses untuk menghasilkan data sesuai dengan panjang lintasan pengukuran. Pada proses ini dilakukan penyesuaian jarak dengan *marking* pada saat pengukuran. Setelah

dilakukan proses ini, sumbu horizontal berubah menjadi jarak yang sesuai dengan panjang lintasan pengukuran.

2. Penguatan amplitudo

Penguatan amplitudo dilakukan untuk memperkuat sinyal refleksi yang lemah yang diakibatkan oleh sumber baterai yang lemah dan efek dari absorpsi dan atenuasi pada lapisan – lapisan yang konduktif yang dilalui oleh gelombang elektromagnetik.

3. Filter data

Filter data dilakukan untuk mengurangi noise seperti *direct wave* dan *multiple*. Filter yang digunakan adalah filter *Infinite Impulse Response (IIR)* yaitu *low pass filter* sebesar 100 Mhz.

4. Deconvolution

Proses *deconvolution* merupakan proses untuk meniadakan efek dari konvolusi. Proses ini untuk menghilangkan *multiple wave* dan sinyal refleksi dari lapisan tipis dan sinyal gelombang langsung di permukaan.

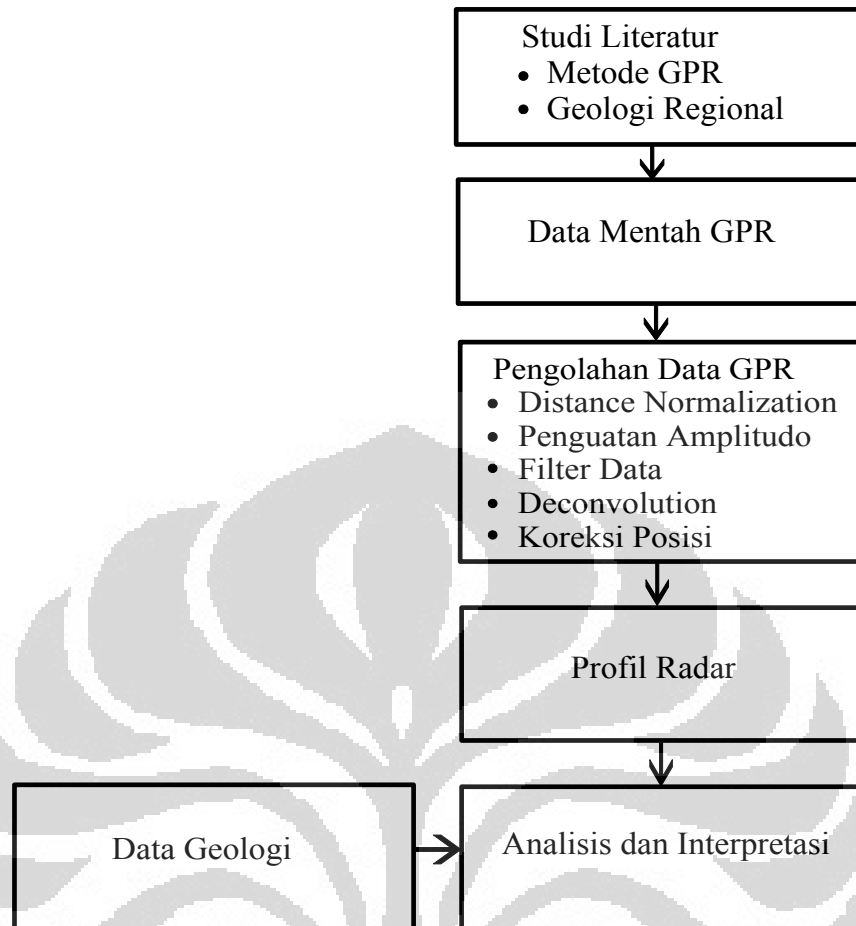
5. Koreksi posisi

Koreksi posisi dilakukan untuk menghilangkan *direct wave*, sehingga didapatkan nilai *two way travel time* yang akurat dalam menentukan permukaan reflektor. Proses ini dilakukan untuk menentukan reflector pertama yang dilalui sinyal radar.

Hasil processing data tersebut akan digunakan untuk menentukan posisi endapan, dasar sungai dan lapisan *bedrock*

1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan meliputi beberapa tahapan yaitu mulai dari studi literatur yang meliputi metode GPR dan geologi regional. Kemudian mendapatkan data geofisika dan data pendukung yaitu data geologi. Selanjutnya melakukan pengolahan data geofisika untuk membuat profil radar yang dapat menggambarkan kondisi dasar sungai dan lapisan *bedrock*. Hasil pengolahan data tersebut dan data pendukung seperti data geologi akan dianalisis dan diinterpretasikan untuk melokalisir keberadaan dasar sungai, lapisan alluvial dan lapisan *bedrock*.



Gambar 1.2. Diagram Alur Kerja Penelitian

1.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan tugas akhir pada rentang waktu antara Januari – Maret 2009. Penelitian ini dilakukan di daerah Kalimantan Barat yang merupakan salah satu blok eksplorasi milik PT. Aneka Tambang Tbk. bersama tim Geofisika perusahaan tersebut .

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

- BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini berisikan penjelasan mengenai latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

- BAB 2 : Teori Dasar

Dalam bab ini menjelaskan tentang teori gelombang untuk GPR, prinsip dasar metode GPR, perambatan gelombang di bawah permukaan, metode pengukuran GPR, geologi regional daerah penelitian.

- **BAB 3 : Data dan Pengolahan Data**

Pada bab ini dijelaskan mengenai data lapangan yang digunakan dan pengolahan data GPR disertakan juga penjelasan tentang hasil dari setiap proses yang dilakukan yaitu parameter yang digunakan dan perbedaan yang terjadi dengan data sebelum dilakukan pengolahan data tersebut.

- **BAB 4 : Interpretasi dan Analisis Data**

Pada bab ini dilakukan pembahasan (analisis dan interpretasi) hasil pengolahan data kemudian mengkompilasiannya dengan data geologi regional. Interpretasi yang akan dilakukan yaitu menentukan zona-zona yang berhubungan dengan batuan dasar sungai, dan menentukan kedalaman zona-zona tersebut.

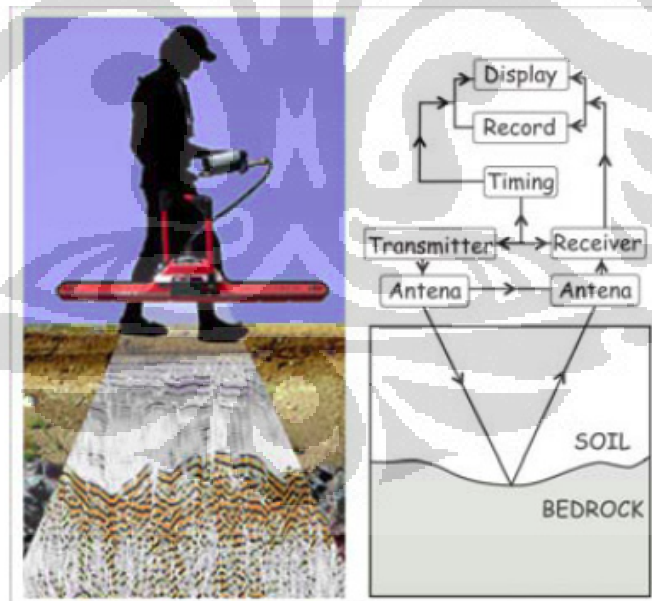
- **BAB 5 : Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisikan intisari dari bab 1,2,3, dan 4 yang dijadikan sebagai kesimpulan dan saran untuk daerah penelitian dijadikan sebagai penutup.

BAB II TEORI DASAR

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan suatu metoda pengukuran geofisika yang menggunakan sinyal gelombang elektromagnetik dalam prinsip kerjanya. Metode ini berdasarkan pada fenomena yang muncul ketika suatu gelombang elektromagnetik dipancarkan ke dalam bumi.

Metode ini digunakan untuk menghasilkan tampilan struktur bawah permukaan bumi beresolusi tinggi. Umumnya, tujuan dari survey GPR adalah untuk mendeteksi kondisi bawah permukaan bumi dangkal, material bangunan, jembatan, dan lainnya. Prinsip operasional GPR adalah memancarkan pulsa gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi (10 – 1000 Mhz) yang dibangkitkan oleh antena transmitter. Gelombang ditransmisikan ke dalam bumi dan batuan bawah permukaan merefleksikannya hingga dideteksi oleh *receiver* dalam orde nanosekon.



Gambar 2.1. Ilustrasi prinsip kerja metode GPR

Antena *receiver* (Rx) diatur untuk melakukan *scan* secara normal atau bergantung pada sistem yang digunakan. Setiap hasil *scan* akan ditampilkan pada layar/grafik rekaman. Sinyal yang diterima *receiver* selama antena

digeserkan di atas tanah ditampilkan sebagai fungsi *two-way traveltime*, yaitu waktu yang diambil saat transmisi hingga waktu pendeteksian oleh *receiver*. Sinyal kemudian diperkuat dan disimpan dalam suatu perekam digital magnet atau computer untuk selanjutnya data rekaman diolah dan ditampilkan.

2.1 Persamaan Gelombang Elektromagnetik

Metode elektromagnetik didasarkan atas Persamaan Maxwell yang merupakan perumusan matematis untuk hukum-hukum alam yang melandasi semua fenomena elektromagnetik. Persamaan Maxwell terdiri atas empat persamaan medan. Setiap persamaan dapat dipandang sebagai hubungan antara medan dengan distribusi sumber (muatan atau arus) yang bersangkutan. Persamaan Maxwell I, persamaan yang menyatakan bahwa medan listrik dihasilkan dari perubahan medan induksi magnet :

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

Persamaan Maxwell II, persamaan yang menyatakan bahwa medan magnet dihasilkan dari aliran arus listrik :

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

Persamaan Maxwell III, persamaan yang menyatakan berlakunya sifat loop tertutup perpindahan listrik pada suatu rapat muatan listrik :

$$\nabla \cdot D = q \quad (2.3)$$

dan Persamaan Maxwell IV, persamaan yang menyatakan berlakunya sifat loop tertutup untuk flux magnet jika tidak terdapat arus magnet bebas :

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.4)$$

E = kuat medan listrik (volt/meter)

B = induksi magnet (weber/meter²)

D = pergeseran medan listrik (coulomb/meter²)

H = kuat medan magnet (ampere/meter)

q = rapat muatan listrik (coloumb/meter²)

J = rapat arus (ampere/meter²)

Perambatan gelombang elektromagnetik yang melalui medium ditentukan oleh tiga sifat material yaitu permitivitas listrik (ϵ), permeabilitas magnet (μ), dan konduktivitas listrik (σ), dimana :

hubungan antara induksi magnet dan kuat medan magnet

$$B = \mu H \quad (2.5)$$

hubungan antara pergeseran medan listrik dan kuat medan listrik

$$D = \epsilon E \quad (2.6)$$

hubungan antara rapat arus dan kuat medan listrik

$$J = \sigma E \quad (2.7)$$

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ = permitivitas listrik medium (Farad/meter)

ϵ_0 = permitivitas listrik dalam ruang vakum = $8,85 \times 10^{-12}$ (Farad/meter)

ϵ_r = permitivitas relatif (konstanta dielektrik relatif) medium

$\mu = \mu_0 \mu_r$ = permeabilitas magnetik medium (Henry/meter)

μ_0 = permeabilitas magnet dalam ruang vakum = $4\pi \times 10^{-7}$ (Henry/meter)

μ_r = permeabilitas magnet relatif medium

σ = konduktivitas listrik (Siemens/meter)

2.2 Persamaan Gelombang Radar

Persamaan dasar gelombang radar dari gelombang elektromagnetik pada radiasi antena energi frekuensi radio diturunkan dari Persamaan Maxwell di atas :

$$\nabla^2 E + \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.8)$$

solusi persamaan di atas adalah :

$$E = E_0 e^{-j(\omega t - kr)} \quad (2.9)$$

atau:

$$E = E_0 e^{-\alpha r} e^{-j(\omega t - \beta r)} \quad (2.10)$$

dengan koefisien atenuasi (α) :

$$\alpha = \omega \left\{ \left(\frac{\mu\epsilon}{2} \right) \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\} \quad (2.11)$$

dimana $\omega = 2\pi f$ adalah kecepatan sudut, f adalah frekuensi (Hz), μ adalah permeabilitas magnetik ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m), σ adalah konduktivitas (S/m), dan ϵ adalah permitivitas listrik. Rumus ini berlaku untuk material non-magnetik.

Hilangnya energi akibat atenuasi muncul sebagai konsekuensi dari *reflection/transmission losses* sekitar batas peralihan. Absorpsi di lapisan itu terjadi ketika gelombang elektromagnetik melalui sebuah batas peralihan. Akibatnya jika ada objek yang memiliki dimensi sama dengan panjang gelombang dari sinyal gelombang elektromagnetik, maka objek ini mengakibatkan penyebaran energi secara acak (Reynolds, 1997). Energi yang hilang juga disebabkan oleh dissipasi (mengubah energi elektromagnetik menjadi energi panas). Kehilangan energi lainnya adalah proses atenuasi yang disebabkan oleh geometri penyebaran energi (pada saat sinyal gelombang elektromagnetik menjalar dari *transmitter*) dan penalaran gelombang secara divergen yang mengakibatkan berkurangnya energi per unit area yang besarnya $1/r^2$, dimana r adalah jarak yang telah dilalui (Reynolds, 1997).

Penyebab paling mendasar hilangnya energi adalah atenuasi yang merupakan fungsi kompleks dari sifat listrik dan dielektrik media yang telah dilalui oleh sinyal radar. Faktor atenuasi (α) bergantung pada konduktivitas, permeabilitas magnetik serta permitivitas listrik dari media yang dilalui oleh sinyal, juga frekuensi dari sinyal itu sendiri (Reynolds, 1997).

2.3 Perambatan Gelombang Radar dalam Tanah

Ketika gelombang radio dipancarkan dari transmitter akan menghasilkan gelombang refleksi dengan amplitudo yang berbeda-beda. Perbedaan ini berhubungan dengan karakter lapisan-lapisan yang dilalui oleh gelombang tersebut. Amplitudo sinyal atau gelombang refleksi yang terekam di receiver sangat bergantung pada sifat elektromagnetik dari benda yang ada di bawah permukaan yang dilewati oleh gelombang radar. Sifat elektromagnetik dari berbagai material yang ada di bawah permukaan sangat berhubungan pada komposisi mineral dan kandungan air yang dimiliki material tersebut. Keduanya merupakan pengontrol utama dari kecepatan dan atenuasi yang terjadi dalam perambatan gelombang radar melalui material tersebut (Reynolds, 1997).

Dalam setiap perambatan gelombang dikenal istilah kecepatan (*velocity*). Kecepatan gelombang radar sangat bergantung pada konstanta dielektrik dari medium yang dilalui oleh gelombang tersebut (Mussett and Khan, 1993).

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

V_m = kecepatan gelombang radio merambat dalam tanah (m/s)

c = kecepatan cahaya (m/s)

ϵ_r = konstanta dielektrik relatif

Dari persamaan diatas dapat didefinisikan bahwa ketika gelombang radar melalui material atau benda di bawah permukaan yang memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, maka gelombang tersebut akan merambat dengan kecepatan yang lebih rendah dan sebaliknya. Sebagai contoh udara yang memiliki konstanta dielektrik 1 dan air yang memiliki konstanta dielektrik 80 memiliki kontras kecepatan yang sangat tinggi, dimana gelombang radar akan memiliki kecepatan yang lebih tinggi pada udara dibandingkan pada air (Henry, 2008)

Untuk mengkonversi *travel time* menjadi *depth* digunakan V_{rms} , yaitu kecepatan yang mewakili semua kecepatan disetiap lapisan yang dilewati gelombang radar (Telford et.al, 1990)

$$V_{rms} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

V_{rms} = kecepatan RMS (*Root Mean Square*)

V_i = kecepatan pada lapisan $n = 1, 2, 3, \dots$

t_i = travel time pada saat $n = 1, 2, 3, \dots$

Adanya kontras konstanta dielektrik pada batas permukaan menyebabkan gelombang radar akan terpantulkan (terefleksikan) dengan koefisien refleksi:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (2.14)$$

R = koefisien refleksi

ϵ_1 = konstanta dielektrik lapisan pertama

ϵ_2 = konstanta dielektrik lapisan kedua

Besarnya penetrasi atau kedalaman yang dapat dicapai oleh gelombang radar sangat bergantung pada besar kecilnya frekuensi yang digunakan. Semakin

kecil frekuensi atau semakin besar panjang gelombang yang digunakan, maka akan semakin besar penetrasi yang dapat dicapai oleh gelombang dan sebaliknya. Besarnya penetrasi juga dipengaruhi oleh konduktivitas material, dimana konduktivitas yang tinggi akan menyebabkan penetrasi lebih dangkal karena terjadinya absorpsi oleh lapisan-lapisan yang konduktif (Mussett and Khan, 1993).

Penentuan frekuensi gelombang radar yang digunakan juga akan berpengaruh pada resolusi hasil rekaman data. Ketika menggunakan frekuensi yang rendah akan diperoleh penetrasi yang dalam, akan tetapi resolusi yang dihasilkan akan semakin buruk. Maka, untuk menghasilkan resolusi yang baik digunakan frekuensi yang besar.

Resolusi menunjukkan suatu kemampuan untuk memisahkan dua objek yang berbeda pada jarak yang berdekatan. Hal ini berhubungan erat dengan target atribut geometri termasuk bentuk, ukuran ketebalan dan lain-lain. Pemisahan dua objek yang saling berdekatan hanya bisa dilakukan jika menggunakan panjang gelombang rendah, dan ini berarti gelombang frekuensi tinggi.

Ada dua komponen resolusi yang bekerja pada GPR, yaitu resolusi vertikal dan resolusi lateral. Resolusi vertikal adalah suatu kemampuan untuk membedakan dua objek pada waktu yang berdekatan. Sedangkan resolusi lateral adalah suatu kemampuan untuk membedakan dua objek yang berdekatan secara lateral.

Resolusi vertikal dirumuskan sebagai (Annan, 2001):

$$\Delta r = \frac{\lambda_c}{4} \quad (2.15)$$

Δr = resolusi vertikal (meter)

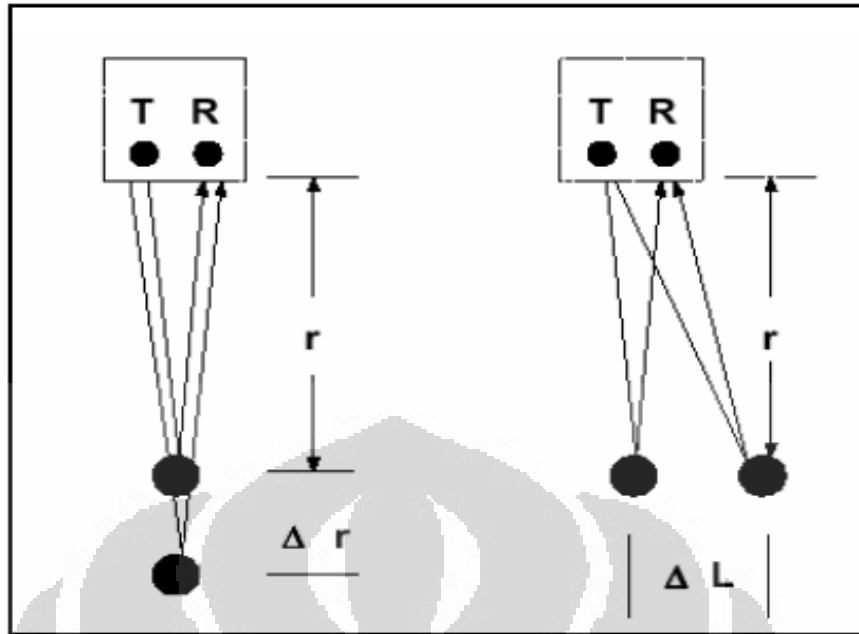
λ_c = panjang gelombang dari frekuensi tengah antena (meter)

Sedangkan resolusi lateral dirumuskan sebagai (Annan, 2001):

$$\Delta L = \sqrt{\frac{\lambda_c d}{2}} \quad (2.16)$$

ΔL = resolusi lateral (meter)

d = kedalaman (meter)



Gambar 2.2. Gambaran sederhana dari resolusi vertikal dan lateral (Annan, 2001)

2.4 Sifat Dielektrik Material Bumi

Konstanta dielektrik suatu material menyatakan kemampuan material tersebut untuk menyimpan muatan yang relatif sama dalam ruang hampa ketika medan listrik diberikan. Selain konstanta dielektrik, sifat elektromagnetik lain seperti konduktivitas material juga merupakan parameter yang sangat penting dalam membahas perambatan gelombang. Konduktivitas merupakan parameter yang menyatakan kemampuan suatu material untuk meneruskan atau mengemisikan energi gelombang.

Ketika gelombang yang ditransmisikan dari *transmitter* mengenai suatu benda atau material di bawah permukaan yang memiliki konduktivitas yang tinggi, maka amplitudo gelombang yang terekam di *receiver* akan sangat kecil. Hal ini disebabkan gelombang yang ditransmisikan diserap oleh material yang memiliki konduktivitas yang tinggi. Hilangnya energi gelombang merupakan akibat dari adanya sinyal transmisi atau refleksi yang hilang pada bidang batas antar lapisan dan terjadi setiap gelombang radio melewati bidang batas lapisan (Reynolds, 1997). Hal ini terjadi karena adanya proses absorpsi pada bidang batas lapisan. Berikut ini merupakan nilai parameter fisis dari beberapa material yang berhubungan dengan *Ground Penetrating Radar (GPR)*.

Tabel 2.1 Nilai parameter fisis beberapa material (Basson, 2000)

Material	ϵ_r	σ (mS/m)	V (m/ns)	α (1/m)
Udara	1	0	0.3	0
Air distilasi	80	0.01	0.033	2×10^{-3}
Air murni	80	0.5	0.033	0.1
Air laut	80	3×10^3	0.01	10^3
Pasir kering	3 – 5	0.01	0.15	0.01
Pasir tersaturasi	20 – 30	0.1 – 1	0.06	0.03 – 0.3
Gamping	4 – 8	0.5 – 2	0.12	0.4 – 1
Serpilh	5 – 15	1 – 100	0.09	1 - 100
Lanau	5 – 30	1 – 100	0.07	1 - 100
Lempung	5 – 40	2 – 1000	0.06	1 - 300
Granit	4 – 6	0.01 – 1	0.13	0.01 – 1
Garam kering	5 – 6	0.01 – 1	0.13	0.01 – 1
Es	3 - 4	0.01	0.16	0.01

2.5 Metode pengukuran GPR

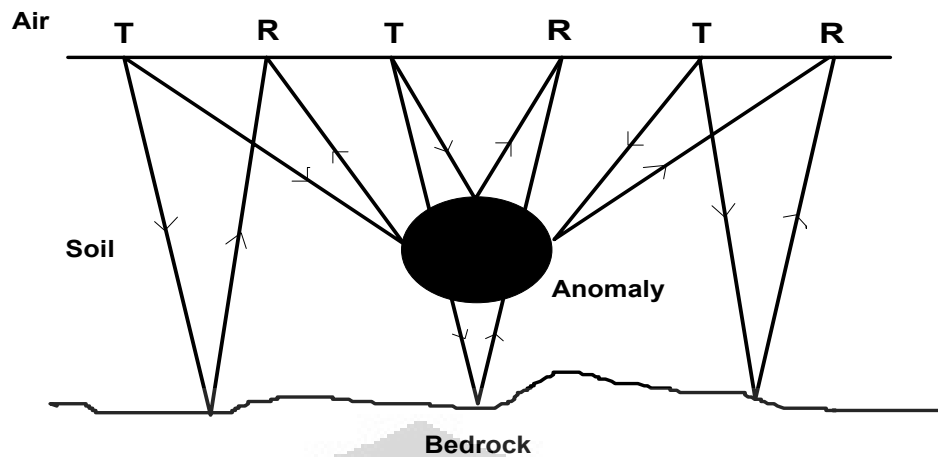
Profil penggambaran bawah permukaan hasil pengolahan data GPR sangat ditentukan oleh pengaturan metode dan parameter pengambilan data lapangan karena akan menentukan tingkat "keberhasilan penggambaran" bawah permukaan.

Terdapat tiga jenis metode pengambilan data yang umum dilakukan sampai saat ini, yaitu *Radar Reflection Profiling*, *Wide Angle Reflection and Refraction* (WARR) atau *Common Mid Point* (CMP) *Sounding* dan *Transillumination* atau *Radar Tomography*.

2.5.1 Radar Reflection Profiling

Pada metode ini menggunakan geometri antena yang sudah pasti, dan dipindahkan bersamaan sepanjang lintasan pengukuran untuk mendapatkan reflektivitas terhadap posisinya.

Ada beberapa parameter yang diperlukan pada saat mendesain metode pengukuran *radar reflection profiling*, yaitu: frekuensi tengah antena, perkiraan jendela waktu (*time window*), *sampling interval*, jarak antar antena, lintasan dan koordinat pengukuran.



Gambar 2.3 Konfigurasi *Radar Reflection Profiling*

2.5.1.1 Frekuensi Tengah Antena

Frekuensi tengah antena adalah frekuensi yang memiliki energi yang dominan dari sinyal yang dipancarkan oleh transmitter. Frekuensi antena yang digunakan pada saat pengukuran berpengaruh pada pencapaian kedalaman efektif dan resolusi vertikal yang mampu dicapai. Bumi dianggap sebagai filter dan akan meredam frekuensi tinggi sehingga makin tinggi frekuensi yang digunakan maka penetrasi sinyal makin kecil, tetapi akan memberikan resolusi tinggi.

Berikut adalah salah satu panduan untuk menentukan antena sebagai fungsi kedalaman, dengan asumsi resolusi spasialnya berkisar 25% dari target kedalaman.

Tabel 2.2 Hubungan antara frekuensi tengah dengan kedalaman
(Annan, 2001)

Kedalaman (m)	Frekuensi Tengah (MHz)
0.5	1000
1	500
2	200
5	100
10	50
30	25
50	10

2.5.1.2 Jendela Waktu (*Time Window*)

Jendela waktu diestimasi berdasarkan persamaan (Annan, 2001):

$$W = 1,3 \frac{2 \times \text{kedalaman}}{\text{kecepatan}} \text{ (ns)} \quad (2.17)$$

dimana harga kedalaman adalah kedalaman maksimum dan besarnya dapat diestimasi sesuai dengan frekuensi antena yang digunakan, sedangkan harga kecepatan yang diasumsikan adalah kecepatan minimum material, sehingga estimasi ini tergantung litologi daerah survei.

2.5.1.3 *Sampling Interval (t)*

Sampling frekuensi merupakan pencuplikan sinyal analog menjadi digital dengan nilai tertentu dalam frekuensi, pencuplikan ini secara langsung juga menyebabkan pencuplikan dalam waktu dengan interval tertentu yang disebut sebagai *sampling interval* atau *sampling rate*. Dipadukan dengan nilai jumlah sampel dalam satu *trace* maka sampling ini menentukan panjang rekaman yang mampu diambil. Dengan mengecilkan sampling frekuensi akan menyebabkan *sampling rate* membesar sehingga akan menambah panjang rekaman.

Hubungan antara sampling interval dengan frekuensi tengah (Annan, 2001):

$$t = \frac{1000}{6f_c} \text{ (ns)} \quad (2.18)$$

2.5.1.4 Jarak Antar Antena

Konfigurasi sistem pengukuran biasanya memisahkan antara antenna *transmitter* dan *receiver*, walaupun kedua antena berada dalam satu wadah. Pemisahan ini bertujuan untuk mengoptimalkan dari target deteksi (mendapatkan puncak dari sinyal yang terefleksikan pada antena *transmitter* dan *receiver* pada kedalaman tertentu dari lintasan akusisi).

Estimasi jarak pisah optimum dari kedua antena dirumuskan (Annan, 2001):

$$S = \frac{2 \times \text{kedalaman}}{\sqrt{(\epsilon_r - 1)}} \quad (2.19)$$

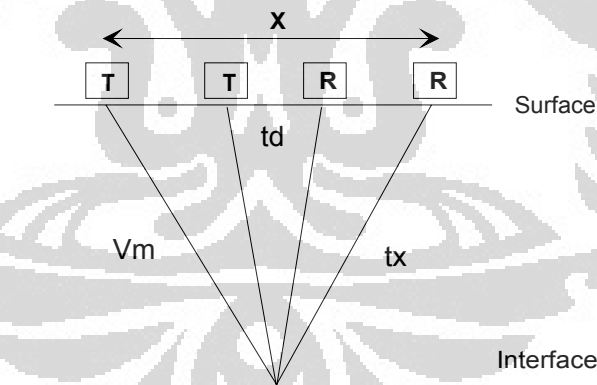
Peningkatan pemisahan antenna ini juga meningkatkan reflektivitas dari target bidang datar yang kadang kala menguntungkan. Salah satu alasan lain yang adanya peningkatan jarak antar antenna ini adalah kisaran dinamis *receiver*.

2.5.1.5 Lintasan dan Koordinat Pengukuran

Aspek yang penting lain dan tidak boleh diabaikan dari parameter pengambilan data adalah lintasan dan koordinat survei. Hal ini sangat berguna untuk mengetahui posisi saat pengukuran.

2.5.2 CMP dan WARR *Velocity Sounding*

CMP (*Common Mid-Point*) dan WARR (*Wide Angle Reflection and Refraction*) *sounding* merupakan metode pengukuran elektromagnetik yang hampir sama dengan seismik refraksi atau seismik refleksi dengan sudut tinggi. *CMP/WARR sounding* dilakukan untuk mendapatkan estimasi kecepatan sinyal radar terhadap kedalaman dengan menggunakan antenna pada beberapa jarak tertentu dan mengukur perubahan dari *two-way travelttime* untuk mendapatkan refleksinya.



Gambar 2.4. Konfigurasi *Common Mid-Point* (CMP)

$$V_m = \frac{x}{\sqrt{t_x^2 + t_d^2}} \quad (2.20)$$

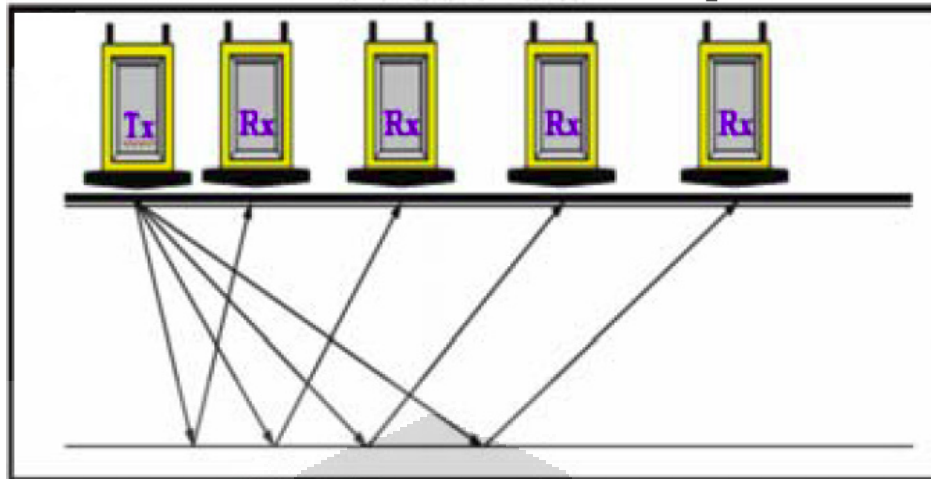
dimana :

v_m = kecepatan perambatan medium

x = jarak antara *transmitter* dan *receiver*

t_d = waktu tempuh awal

t_x = waktu tempuh ketika *transmitter* dan *receiver* terpisah sejauh X



Gambar 2.5. Konfigurasi *Wide Angle Reflection and Refraction* (WARR)

2.5.3 *Transillumination* atau *Radar Tomography*

Pada metode ini antena *transmitter* dan *receiver* diletakkan di sekeliling suatu material, metode ini dilakukan untuk melihat sifat transmisi dari penjalaran gelombang sehingga akan mampu melihat struktur material tersebut lebih detail.



Gambar 2.6. Konfigurasi *Transillumination*

2.6 Geologi regional daerah penelitian

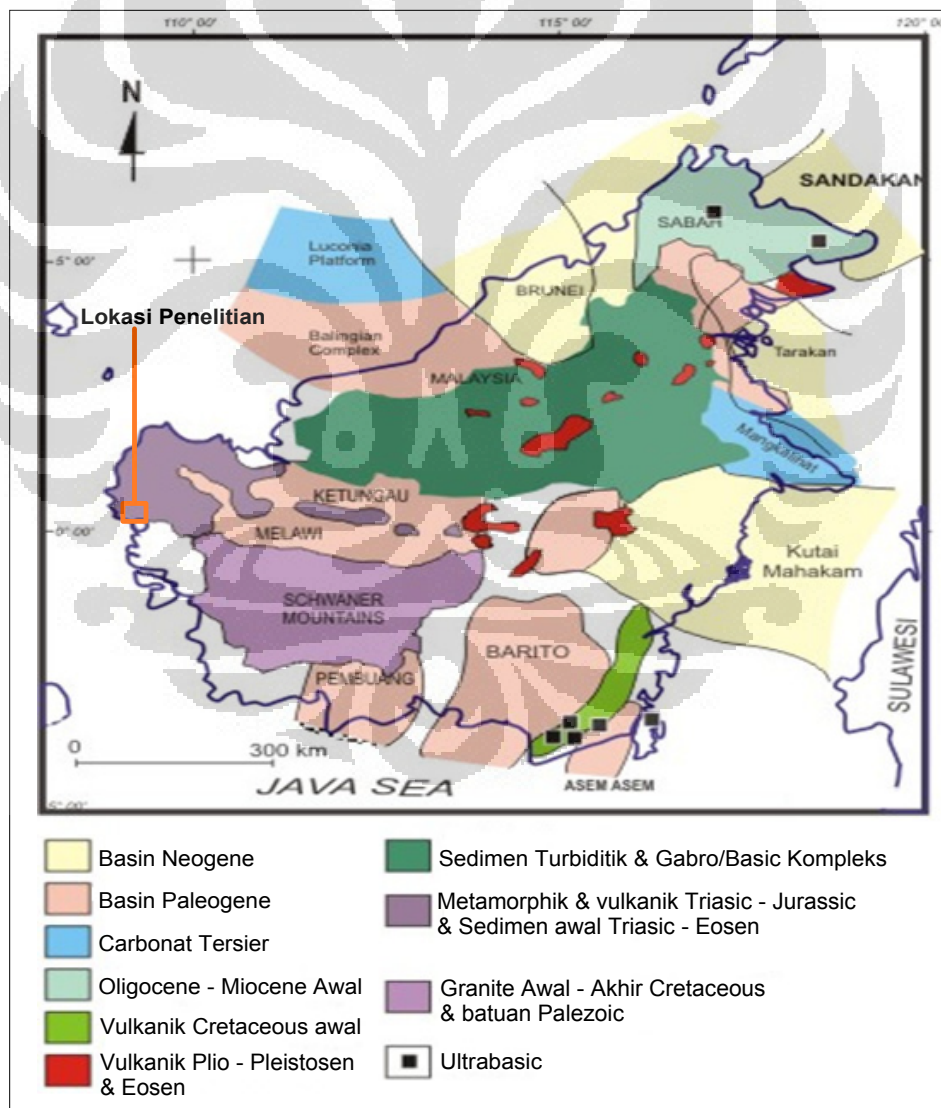
Secara administratif daerah penelitian masuk dalam wilayah Propinsi Kalimantan Barat, Kabupaten Pontianak. Peta geologi regional daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Karakteristik geologi (stratigrafi, struktur, dan litologi) daerah Kalimantan Barat didominasi oleh terutama penyebaran batuan vulkanik dan intrusif tersier

serta batuan plutonik kapur yang mengintrusi formasi sedimen (Tim Eksplorasi Mempawah, 2008).

Dilihat dari tekstur tanahnya, sebagian besar daerah Kalimantan Barat terdiri dari jenis tanah PMK (podsolit merah kuning) yang meliputi areal sekitar 10,5 juta hektar atau 17,28 % dari luas daerah Kalimantan Barat sekitar 14,7 juta hektar; jenis tanah OGH (Organosol,Gley dan humus) meliputi luas areal sekitar 19,9 ribu km² dan tanah alluvial meliputi luas areal sekitar 15,11 ribu km².

Lokasi penelitian didominasi oleh tanah alluvial dan batuan vulkanik. Data geologi ini digunakan untuk analisis dan interpretasi data GPR. Peta geologi regional bisa dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Peta geologi regional daerah penelitian

Dataran Kalimantan Barat yang berbentuk dataran rendah cenderung terletak di sepanjang sungai, menghampar dari bagian barat ke timur. Bagian Utara ke Selatan yang menyusuri pantai laut Natuna/Selat Karimata. Sungai – sungai di Kalimantan Barat memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat pesisir pantai dan juga berfungsi sebagai sarana transportasi air.

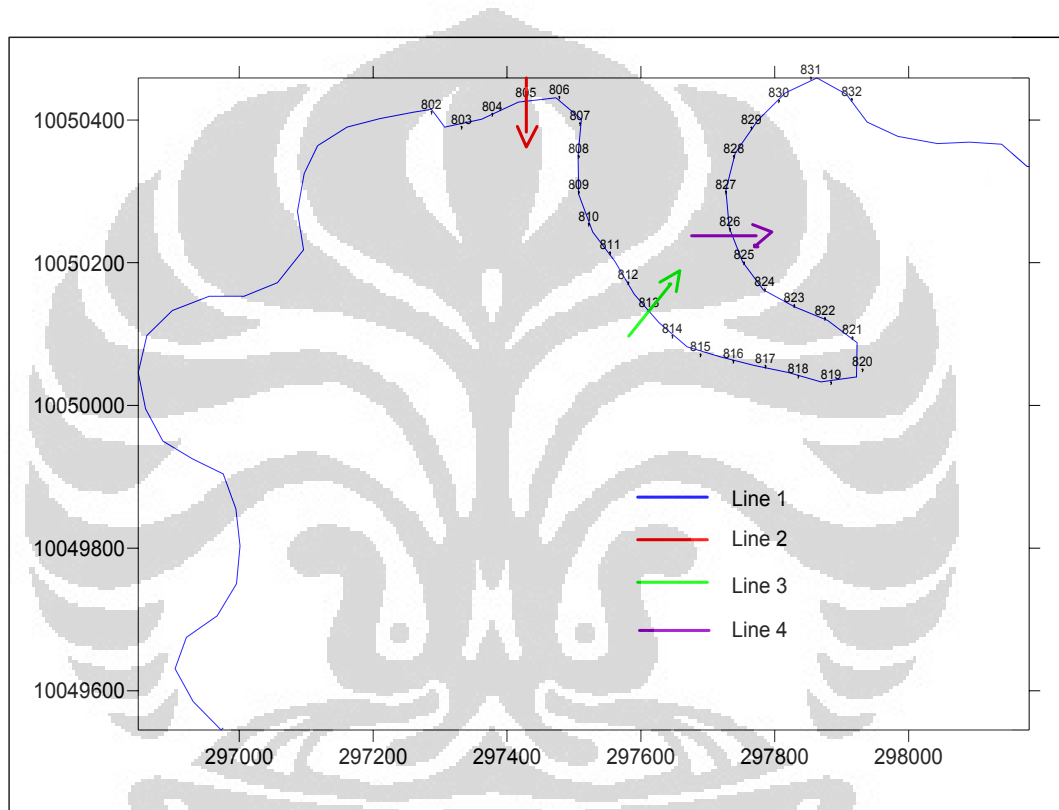
Sungai-sungai tersebut bersifat intermeten, maksudnya kondisi sungai dipengaruhi oleh musim. Apabila terjadi musim kemarau, maka volume air sungai menjadi kering dan tidak dapat berfungsi sebagai sarana transportasi. Sebaliknya apabila terjadi musim penghujan, air sungai kadangkala meluap dan menggenangi kawasan di pinggiran sungai. Beberapa sungai besar sampai saat ini masih merupakan urat nadi dan jalur utama untuk angkutan daerah pedalaman, walaupun prasarana jalan darat telah dapat menjangkau sebagian besar kecamatan.

Topografi atau keadaan ketinggian tanah secara umum dataran Kalimantan Barat merupakan dataran rendah. Sebagian dataran rendah ini berawa-rawa bercampur gambut dan hutan mangrove. Kemiringan tanah di Propinsi Kalimantan Barat terkait dengan fungsi penggunaan lahan yang mana rata-rata kemiringan tanahnya $0 - 15^{\circ}$ sehingga mudah untuk digunakan sebagai kawasan konstruksi bangunan.

BAB III DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Data Lapangan

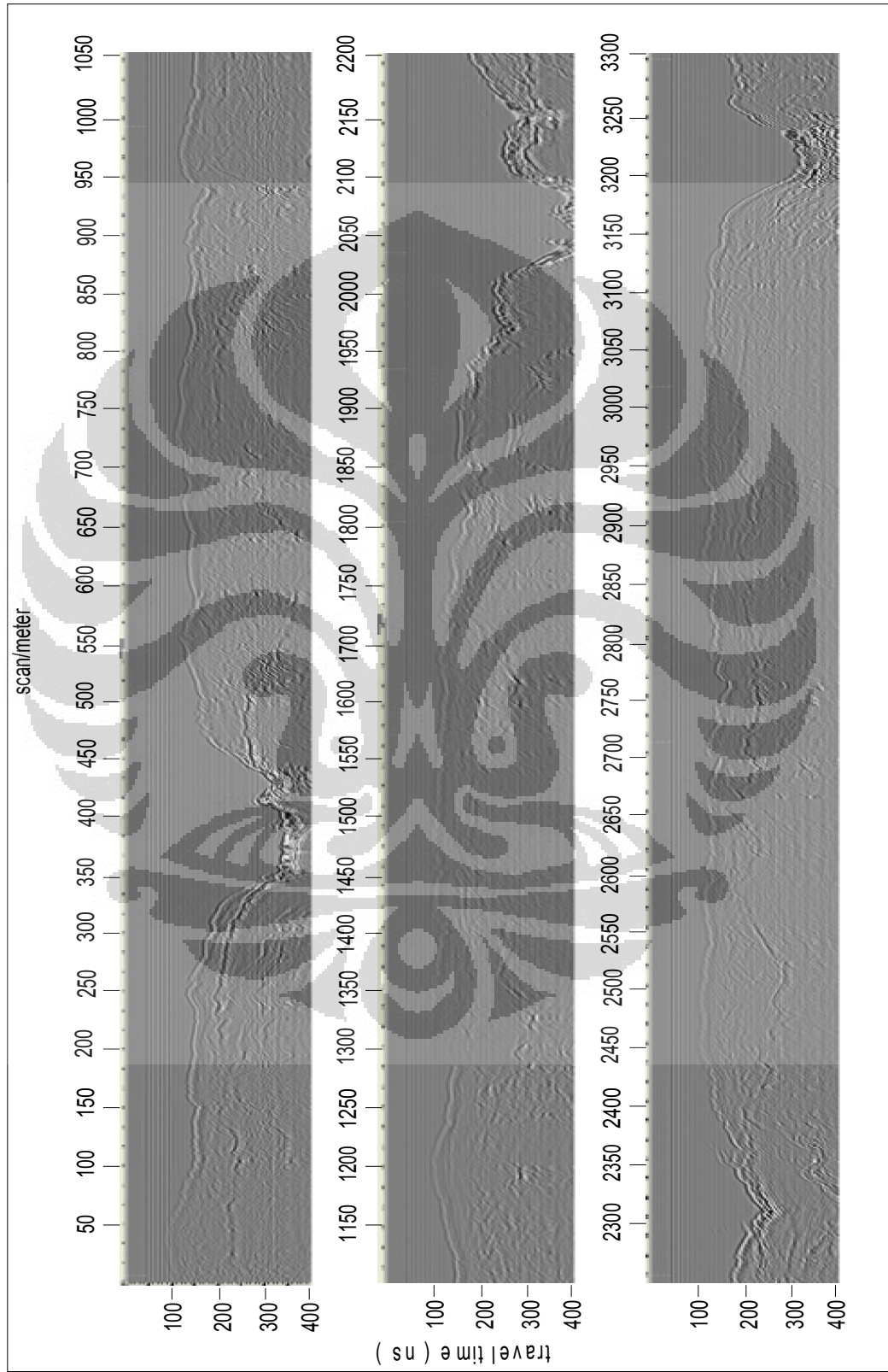
Dalam penulisan skripsi ini penulis menggunakan data GPR dari PT. Antam Tbk Unit Geomin yang merupakan hasil pengukuran di daerah "A". Berikut adalah peta lintasan pengukuran.



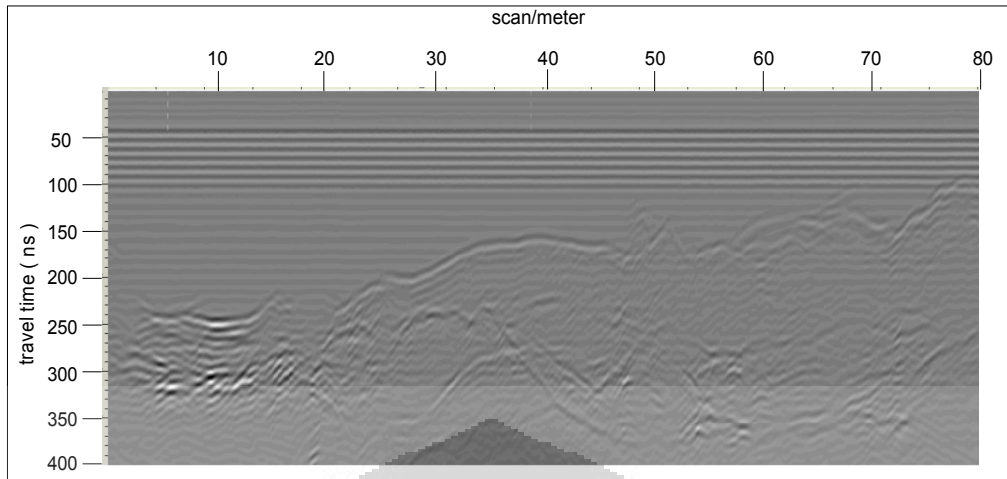
Gambar 3.1. Peta lintasan pengukuran GPR sepanjang alur sungai

Pada proses akuisisi data, metode pengukuran yang digunakan adalah metode *Radar Reflection Profiling*. Metode ini adalah metode pengumpulan profil radar secara berkesinambungan. Dimana antenna *transmitter* dan *receiver* di *set-up* dengan jarak yang tetap sejauh 2 m. Kemudian *transmitter* dan *receiver* dipindahkan secara simultan selama alat melakukan *scanning* sepanjang lintasan pengukuran yang telah ditentukan. Frekuensi antenna *transmitter* yang digunakan

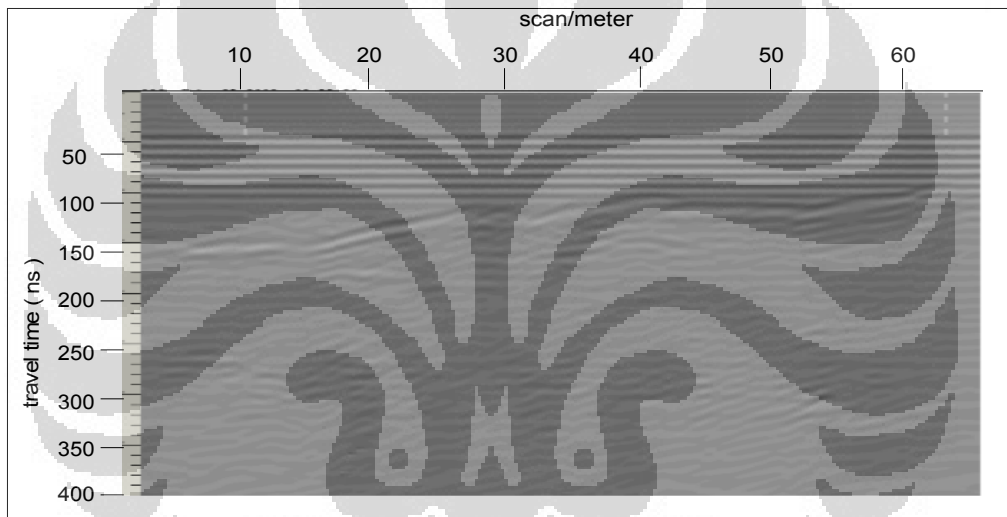
sebesar 80 MHz. Data lapangan yang digunakan merupakan data hasil pengukuran di lapangan. Data lapangan bisa dilihat pada Gambar 3.2.



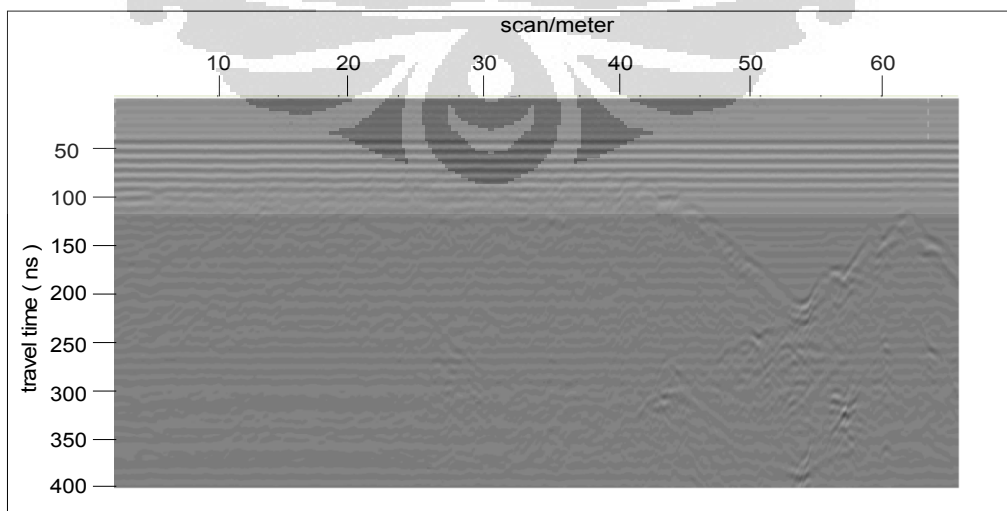
Gambar 3.2a. Data Lapangan line-1



Gambar 3.2b. Data Lapangan line-2



Gambar 3.2c. Data Lapangan line-3



Gambar 3.2d. Data Lapangan line-4

3.2 Pengolahan Data

3.2.1 Distance Normalization

Distance normalization adalah proses normalisasi jarak. Proses ini dilakukan untuk mengubah data sesuai dengan panjang lintasan pengukuran. Sumbu horizontal data merupakan jumlah scan/meter yaitu jumlah sinyal refleksi yang terekam setiap satuan meter. Sumbu horizontal ini diubah menjadi jarak sesuai dengan panjang lintasan pengukuran yaitu dengan memasukkan panjang lintasan pada proses ini.

Setelah dilakukan proses ini, sumbu horizontal berubah menjadi jarak yang sesuai dengan panjang lintasan pengukuran. Pada gambar juga terlihat bahwa bidang batas antar lapisan semakin jelas sehingga lebih mudah untuk mengetahui lapisan yang ada. Data hasil proses *distance normalization* bisa dilihat pada Gambar 3.3.

3.2.2 Penguatan Amplitudo

Penguatan amplitudo adalah suatu proses perubahan amplitudo. Proses ini dilakukan untuk memperkuat sinyal refleksi yang lemah yang diakibatkan oleh beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut diantaranya adalah sumber baterai yang lemah dan efek dari adanya absorpsi dan atenuasi pada lapisan batuan. Pada proses ini juga dapat dilakukan penurunan intensitas sinyal refleksi yang terlalu kuat untuk mendapatkan visualisasi sinyal refleksi yang diinginkan. Dari hasil proses penguatan amplitudo yang telah dilakukan terlihat perbedaan antara data sebelum dilakukan proses penguatan amplitudo dengan data sesudah dilakukannya proses penguatan amplitudo.

Pada proses penguatan amplitudo ini, penguatan dilakukan sebanyak 3, 4, dan 5 kali. Hasil penguatan sebanyak 3 kali tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan data sebelum dilakukan penguatan. Hasil penguatan sebanyak 4 kali menunjukkan adanya perbedaan dengan data sebelum dilakukan penguatan. Setelah dilakukan penguatan batas antar lapisan semakin jelas, terlihat sinyal yang lemah semakin jelas. Sedangkan hasil penguatan sebanyak 5 kali juga menunjukkan adanya perbedaan dengan data sebelum dilakukan penguatan, akan tetapi pada data tidak terlihat batas antar lapisan dengan jelas. Hal ini disebabkan

semua sinyal refleksi menjadi sangat kuat sehingga tidak dapat dibedakan per lapisannya. Dengan melihat hasil dari masing – masing penguatan ini, maka penguatan yang dipilih adalah sebanyak 4 kali dengan hasil yang bisa dilihat pada Gambar 3.4.

3.2.3 Filtering Data

Filtering data adalah suatu proses pemisahan antara sinyal dengan *noise* yang berbeda frekuensinya. Apabila frekuensi sinyal dan frekuensi noise sama maka filter frekuensi tidak efektif dalam prosesing data. Pada proses ini data difilter dengan menggunakan filter *Infinite Impulse Response (IIR)*. Filter ini merupakan filter frekuensi yang terdiri dari *low pass filter*, *high pass filter*, dan, *band pass filter*. *Low pass filter* digunakan untuk menghilangkan sinyal yang memiliki frekuensi tinggi. *High pass filter* digunakan untuk menghilangkan sinyal yang memiliki frekuensi rendah. *Band pass filter* digunakan untuk mengatur keseimbangan antara sinyal berfrekuensi rendah dan sinyal berfrekuensi tinggi.

Dalam *filtering* data ini digunakan *low pass filter* sebesar 100 MHz, dimana frekuensi sinyal yang lebih besar dari 100 MHz dihilangkan. Hasil yang diperoleh kurang efektif karena *noise* yang tidak diinginkan masih terlihat. Hal ini mungkin disebabkan frekuensi sinyal direfleksor mempunyai *range* yang sama dengan frekuensi noise. Hasil proses *filtering* bisa dilihat pada Gambar 3.5.

3.2.4 Deconvolution

Deconvolution adalah proses untuk meniadakan efek konvolusi. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan sinyal yang tidak kita inginkan seperti *multiple wave* yaitu sinyal refleksi yang berulang dari lapisan tipis dan sinyal yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya pada proses sebelumnya. Pada tahapan *deconvolution* parameter yang digunakan adalah *prediction lag* (jarak antar multiple) dan *additional gain* (penguatan sinyal setelah proses *deconvolution*).

Pada *prediction lag* digunakan nilai sebesar 3 yang merupakan jarak antara *multiple ringing noise* sinyal dan pada *additional gain* dilakukan penguatan sinyal 3 kali. *Prediction lag* dilakukan dengan tujuan menghilangkan sinyal yang tidak

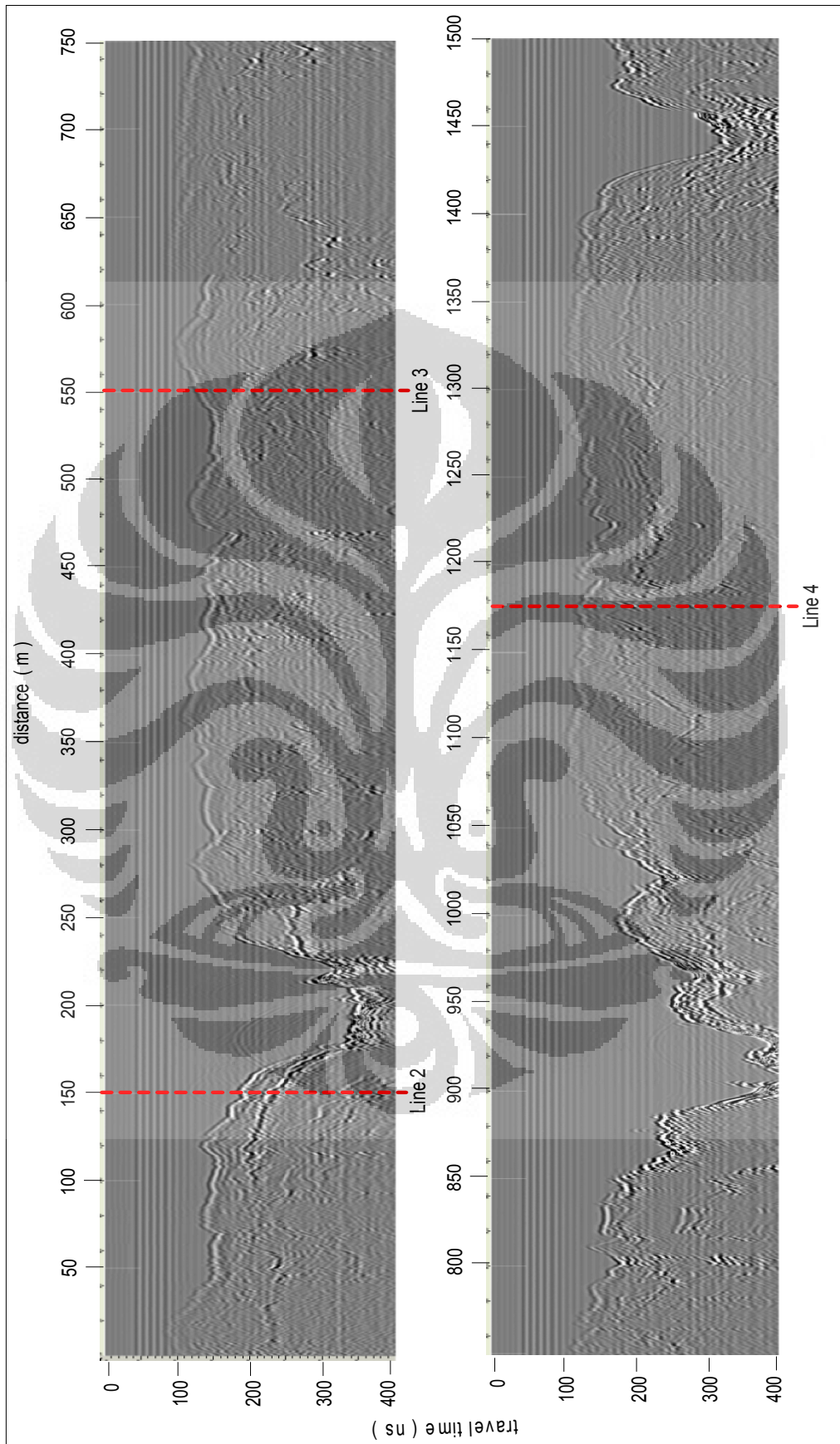
diinginkan seperti tersebut diatas dan *additional gain* dilakukan untuk menampilkan sinyal yang kita inginkan setelah noise dibuang.

Setelah dilakukan proses ini terlihat perbedaan yang jelas dengan data sebelum dilakukan proses ini. Pada gambar terlihat bahwa *multiple wave* menjadi berkurang. Terlihat juga bahwa sinyal yang diinginkan semakin jelas sehingga bidang batas antar lapisan juga semakin jelas. Data hasil proses *deconvolution* bisa dilihat pada Gambar 3.6.

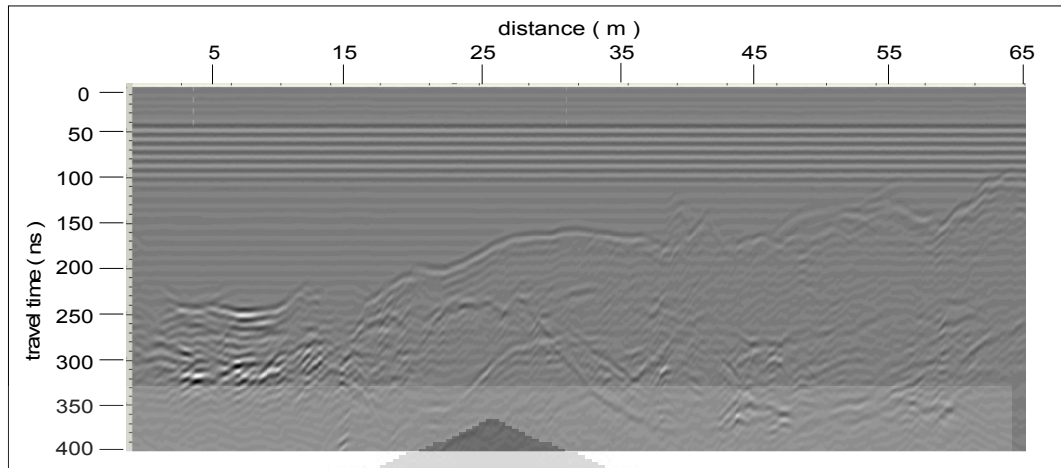
3.2.5 Koreksi Posisi

Koreksi posisi adalah proses untuk mendapatkan kedalaman yang akurat dengan menghilangkan *direct wave* dan menentukan *surface reflection*. Peniadaan tersebut dilakukan untuk menentukan reflector pertama yang dilalui sinyal radar. Pada proses ini dilakukan peniadaan data secara horizontal.

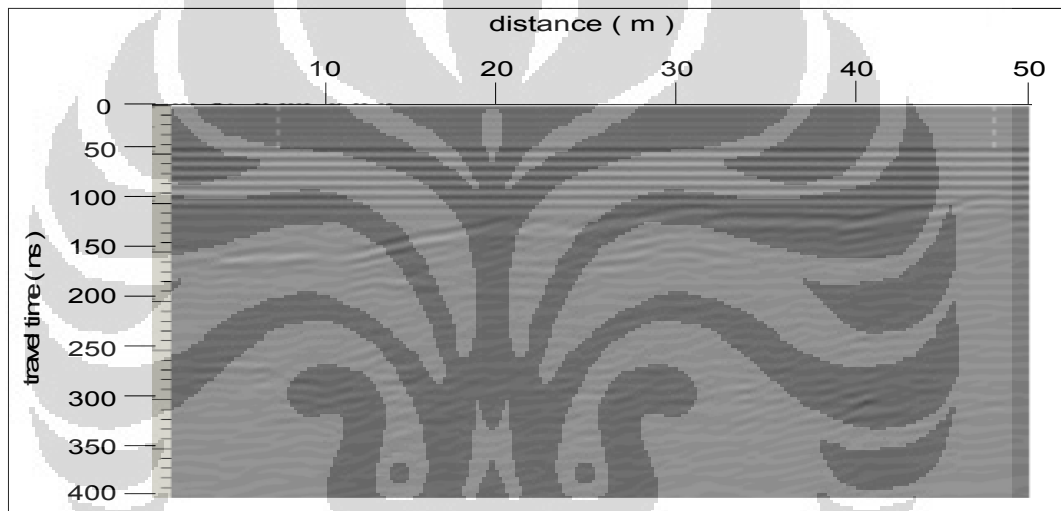
Dengan dilakukannya proses ini bisa terlihat reflektor permukaan dan bisa menentukan jarak antar lapisan secara akurat dalam skala waktu (nanosekon). Hasil dari koreksi posisi bisa dilihat pada Gambar 3.7.



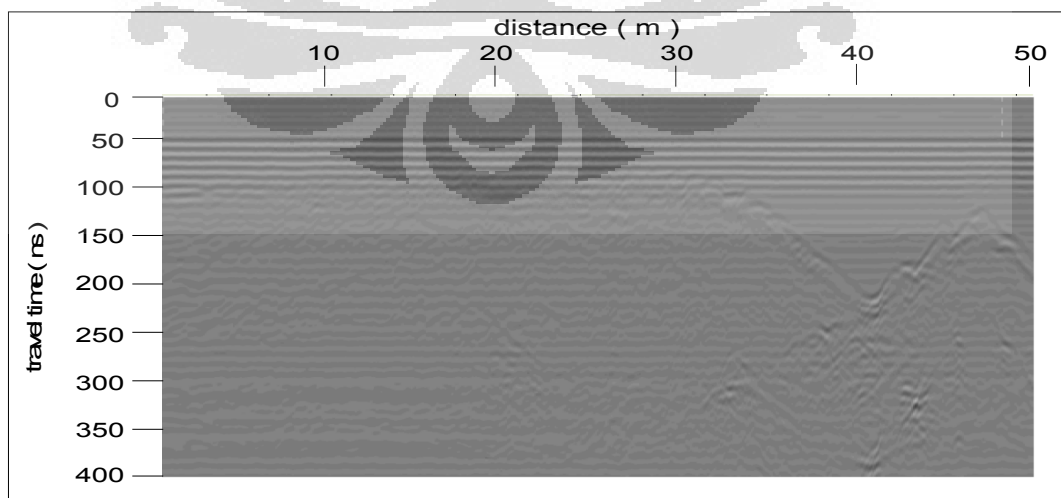
Gambar 3.3a. Data hasil proses *distance normalization* line-1



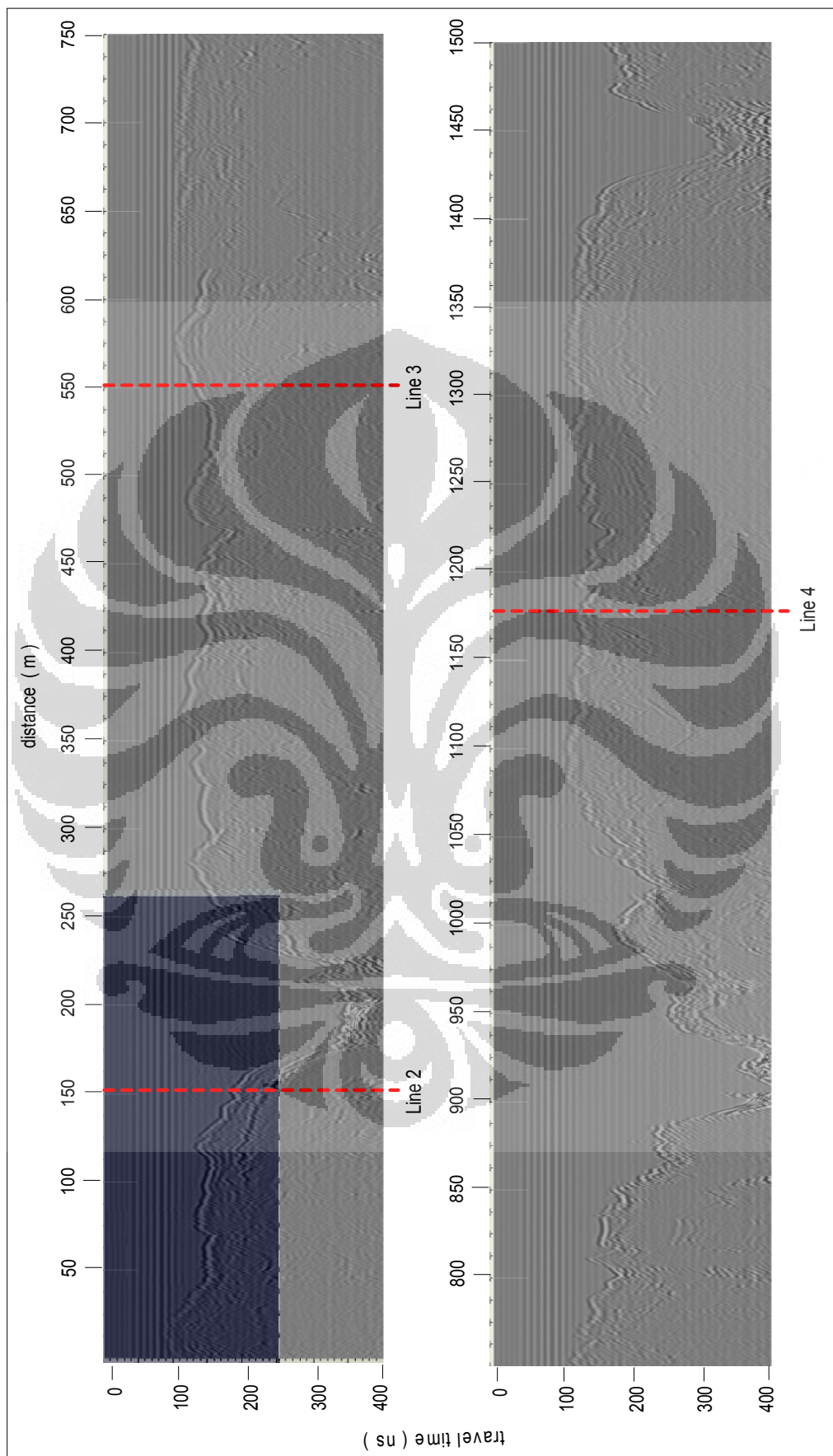
Gambar 3.3b. Data hasil proses *distance normalization* line-2



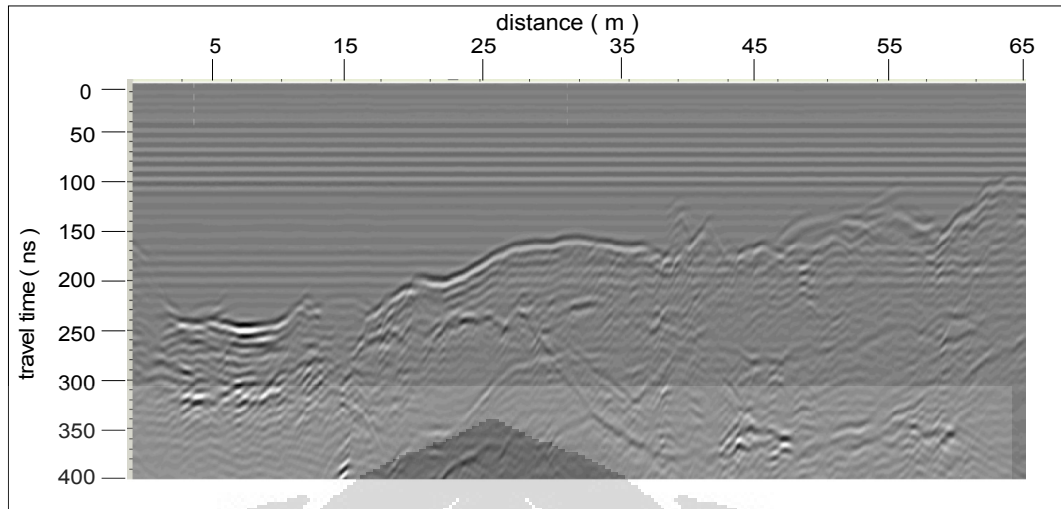
Gambar 3.3c. Data hasil proses *distance normalization* line-3



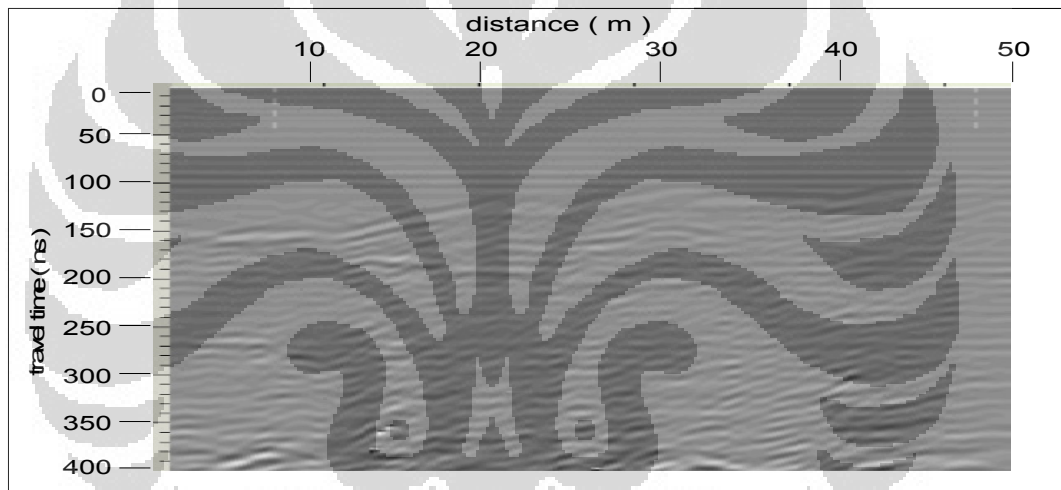
Gambar 3.3d. Data hasil proses *distance normalization* line-4



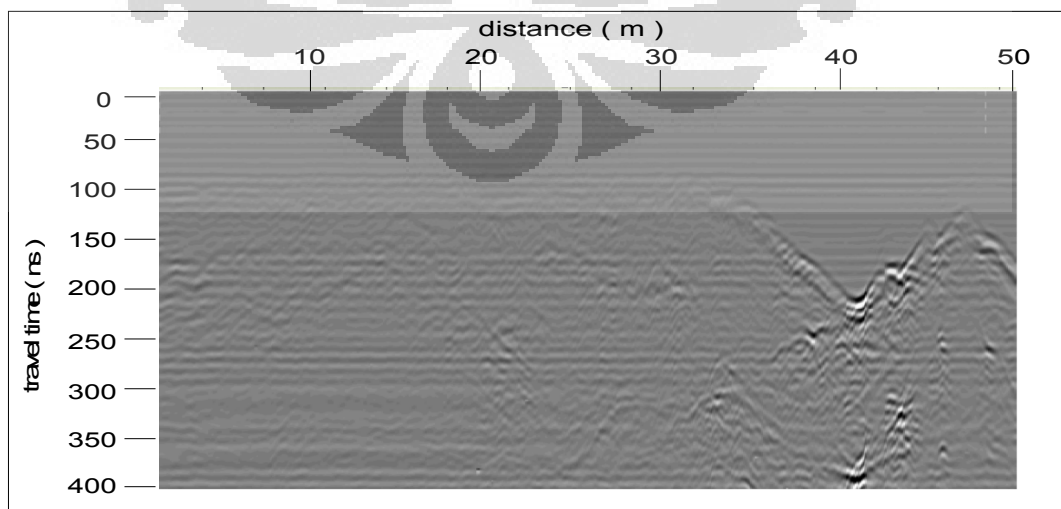
Gambar 3.4a. Data hasil proses penguatan amplitudo line-1



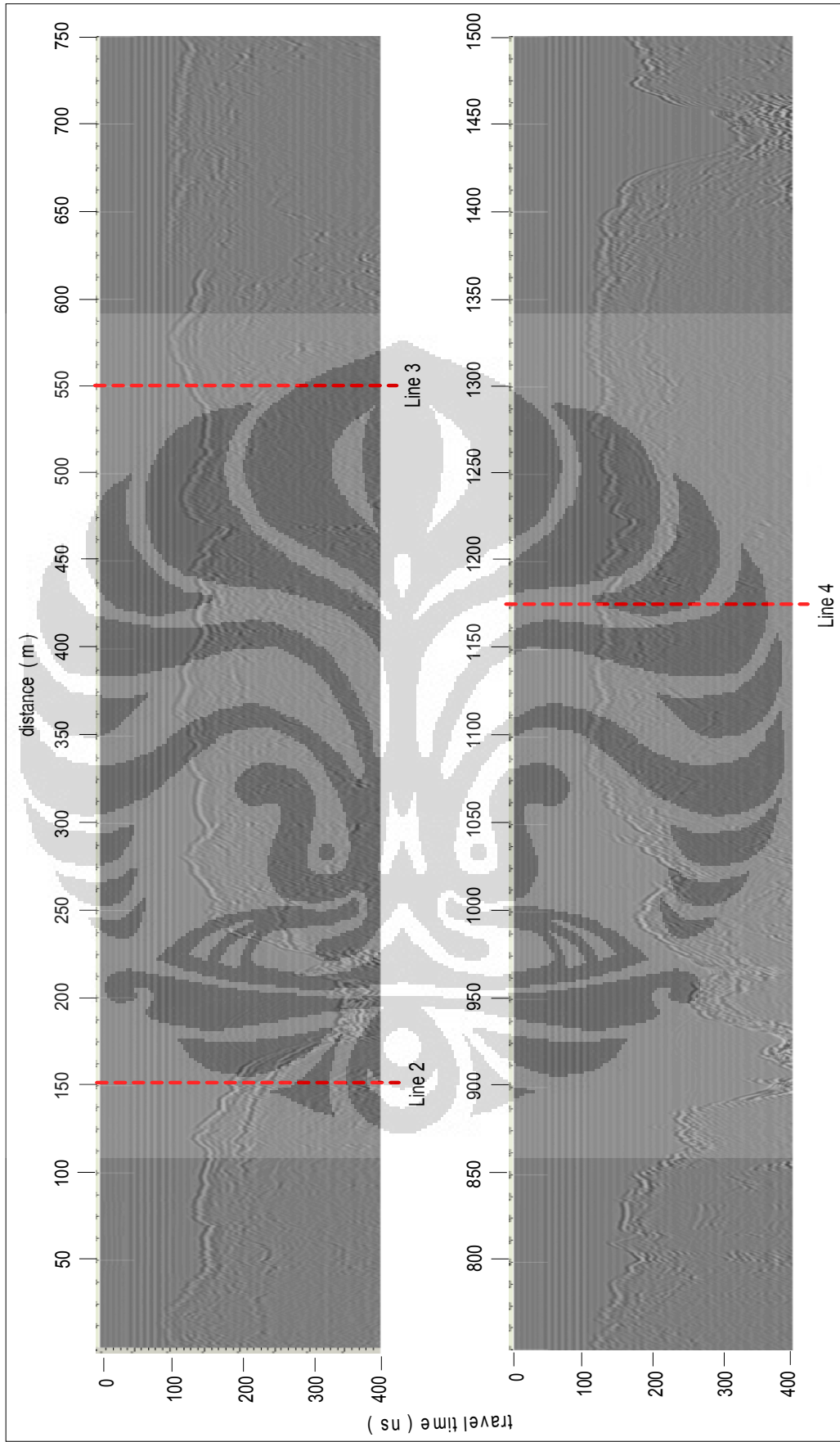
Gambar 3.4b. Data hasil proses penguatan amplitudo line-2



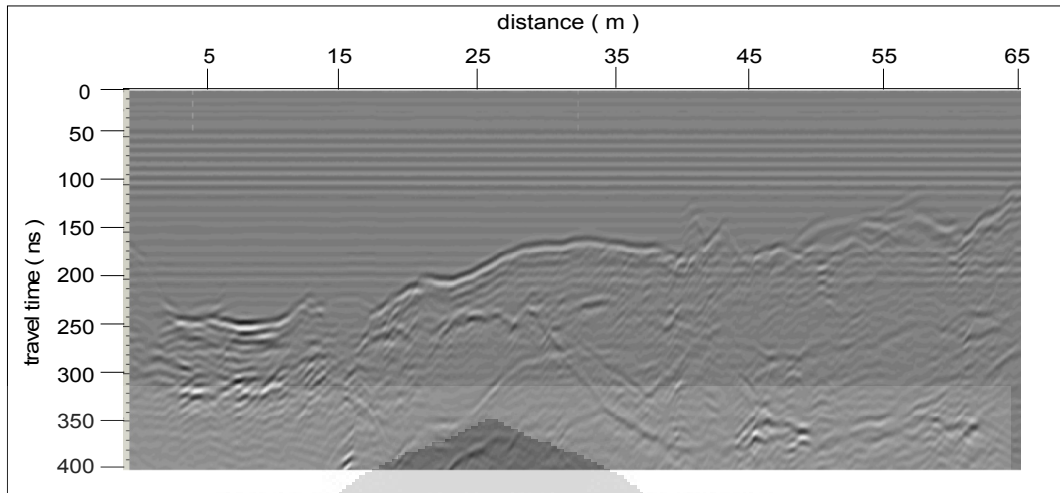
Gambar 3.4c. Data hasil proses penguatan amplitudo line-3



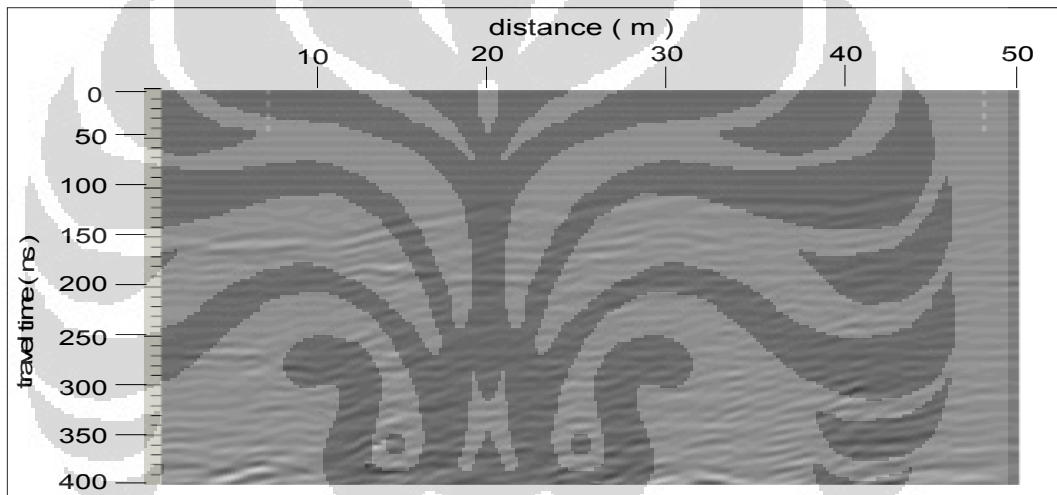
Gambar 3.4d. Data hasil proses penguatan amplitudo line-4



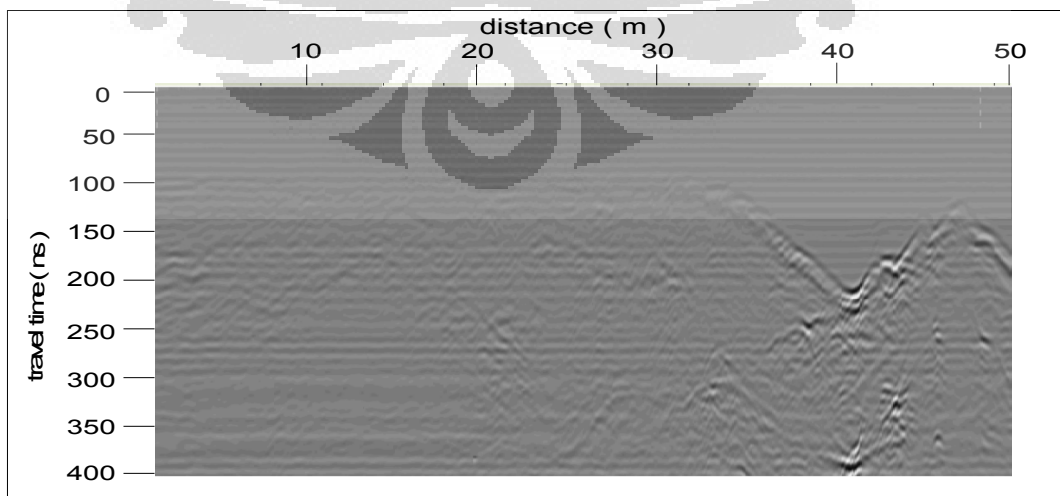
Gambar 3.5a. Data hasil proses *filtering* line-1



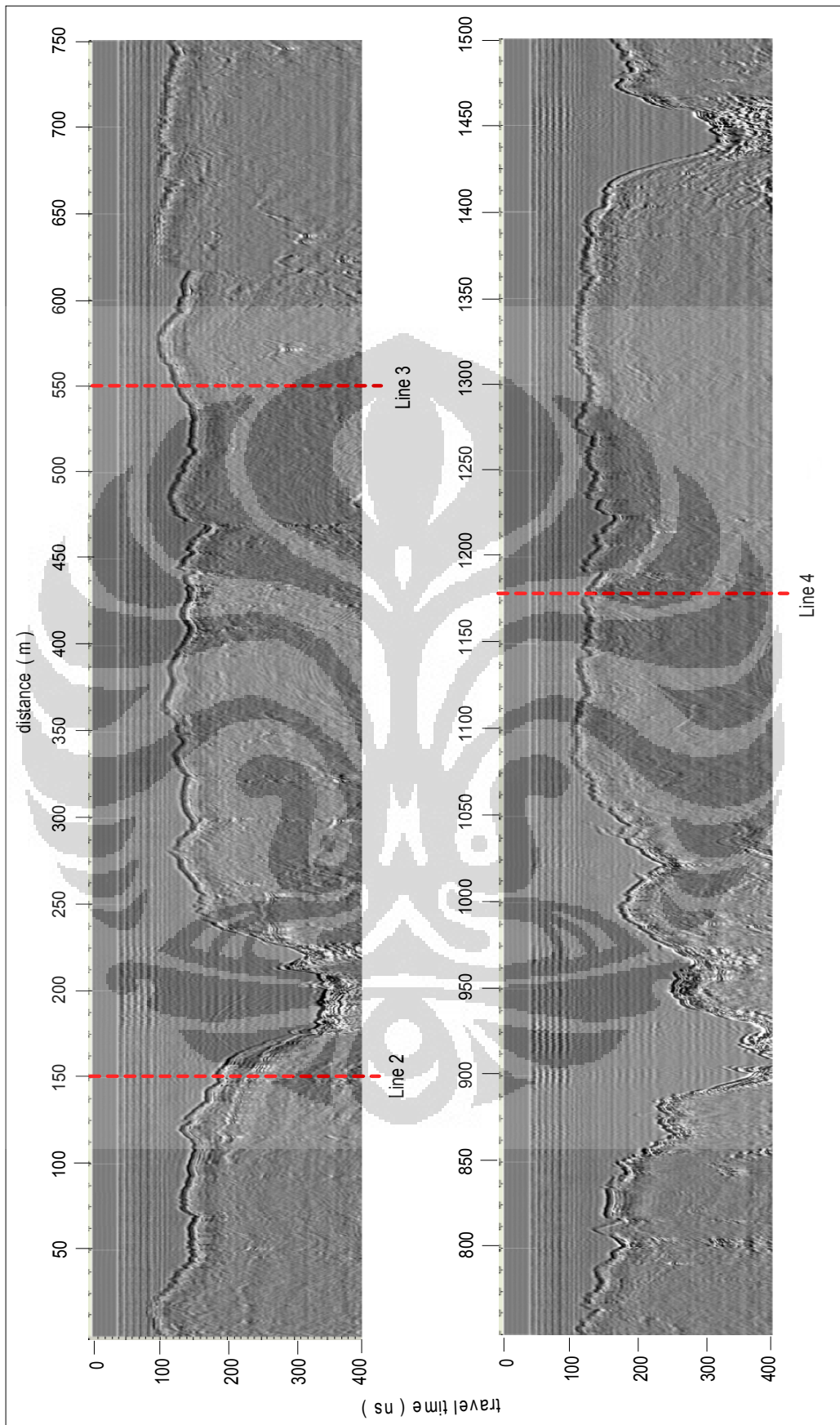
Gambar 3.5b. Data hasil proses *filtering* line-2



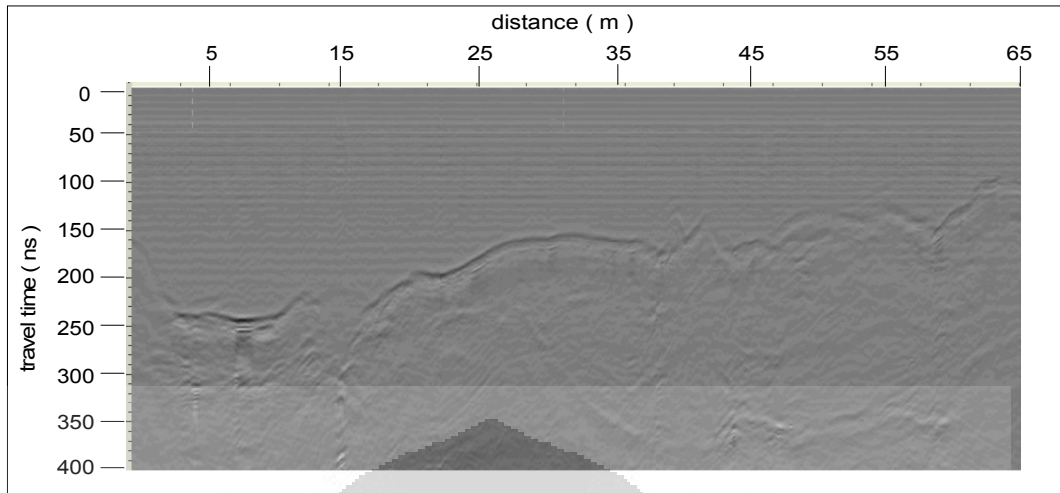
Gambar 3.5c. Data hasil proses *filtering* line-3



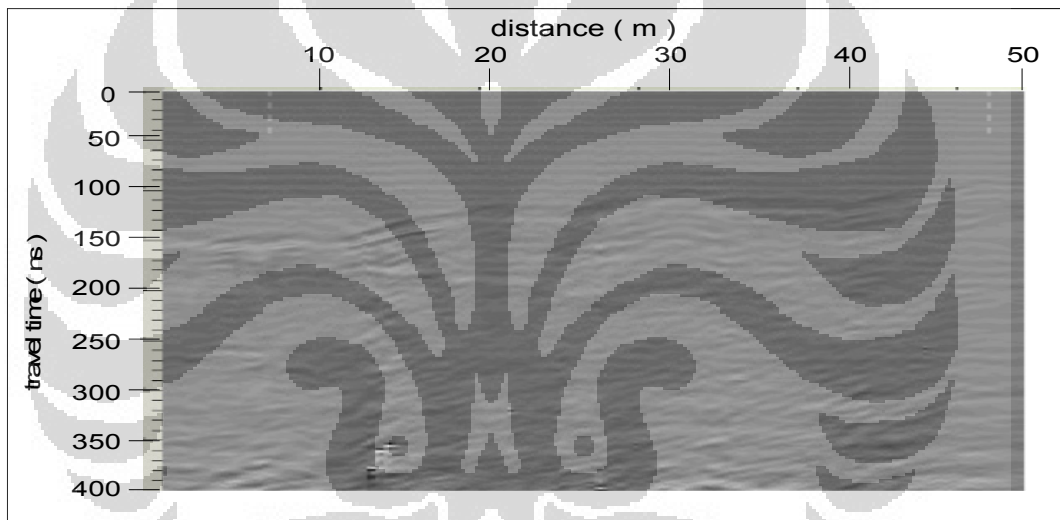
Gambar 3.5d. Data hasil proses *filtering* line-4



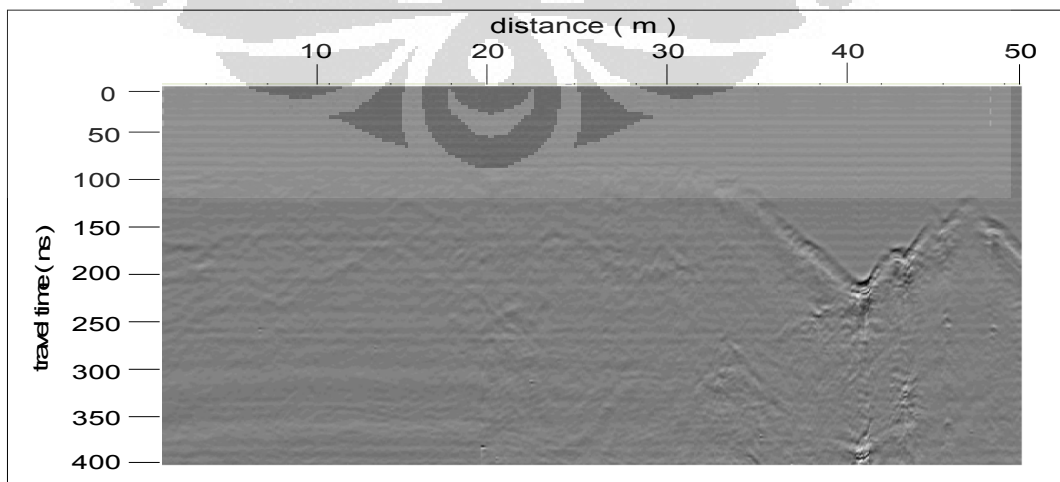
Gambar 3.6a. Data hasil proses *deconvolution* line-1



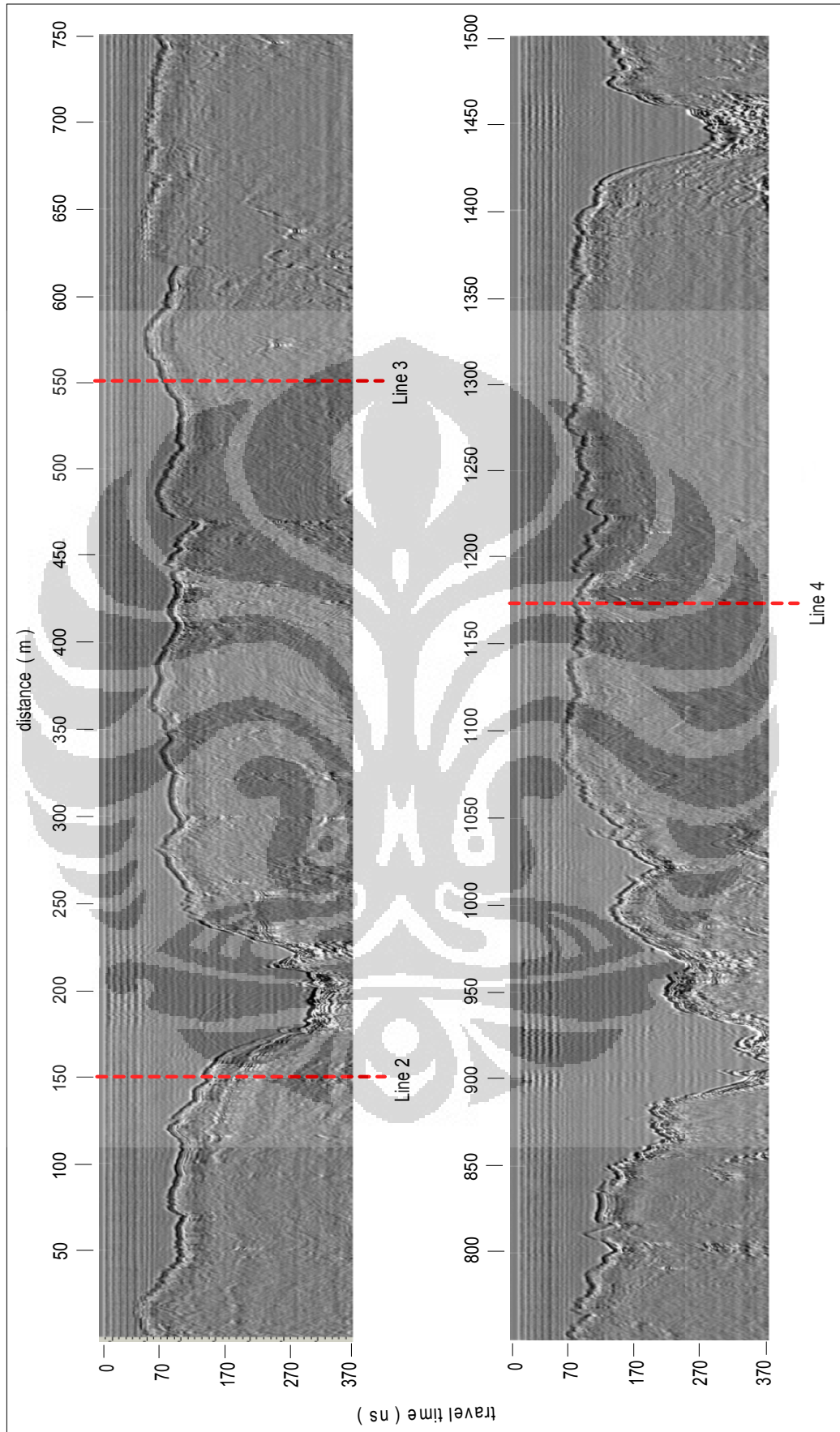
Gambar 3.6b. Data hasil proses *deconvolution* line-2



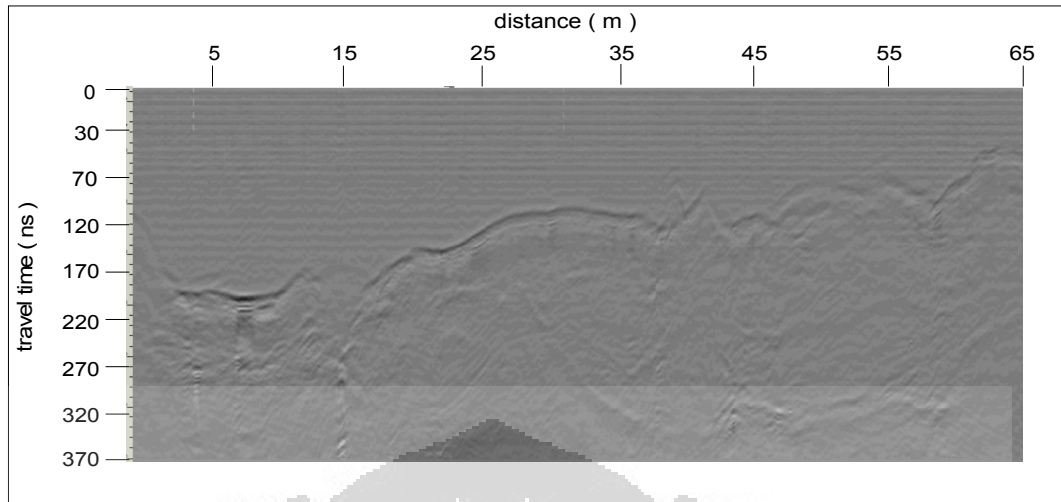
Gambar 3.6c. Data hasil proses *deconvolution* line-3



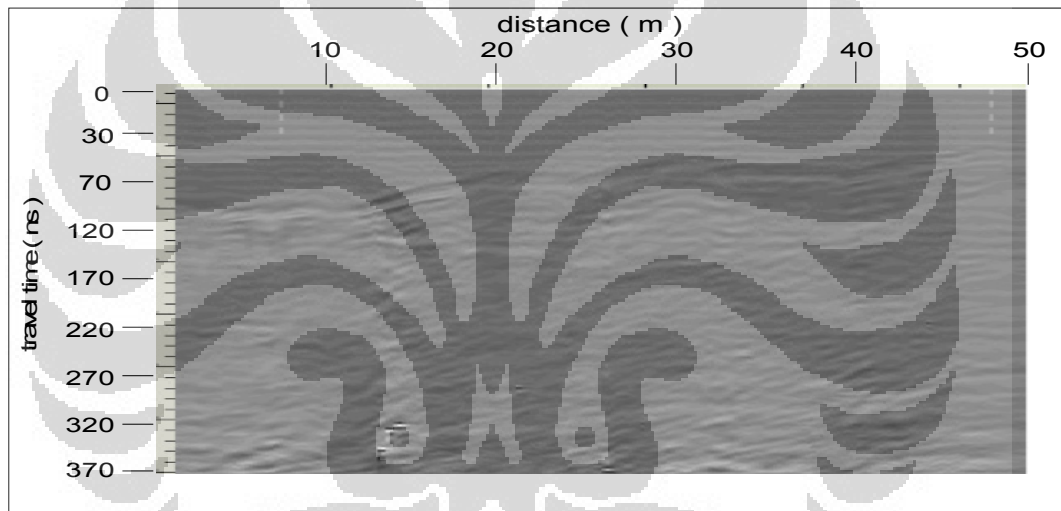
Gambar 3.6d. Data hasil proses *deconvolution* line-4



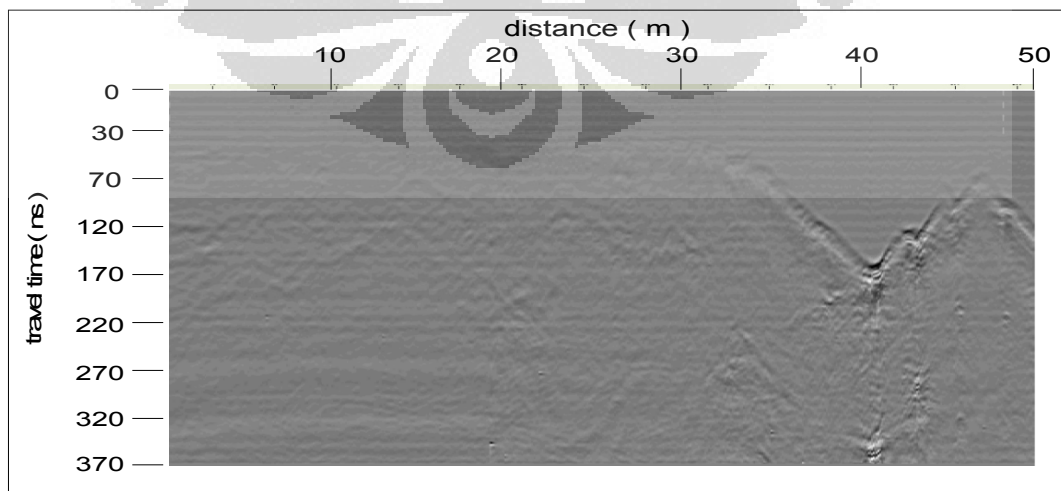
Gambar 3.6a. Data hasil proses *deconvolution* line-1



Gambar 3.7b. Data hasil proses koreksi posisi line-2



Gambar 3.7c. Data hasil proses koreksi posisi line-3



Gambar 3.7d. Data hasil proses koreksi posisi line-4

BAB IV INTERPRETASI DAN ANALISIS DATA

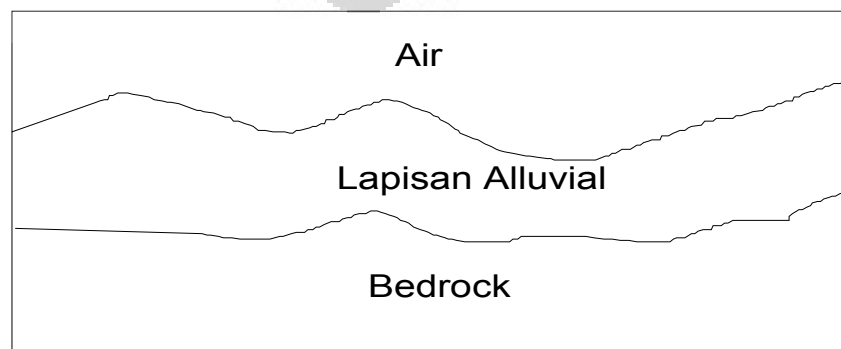
4.1 Interpretasi Data

Dalam menginterpretasi data geofisika diperlukan berbagai macam data pendukung seperti data geofisika lainnya terutama data geologi daerah penelitian. Data geofisika hanya mampu memberikan informasi berdasarkan parameter yang digunakan tanpa disertai penjelasan jika tidak ada data pendukung. Dan ambiguitas hasil interpretasi data sangat besar peluangnya. Dengan adanya data pendukung ini maka ambiguitas hasil akan terminimalisir dan hasil interpretasi data geofisika akan semakin tepat. Dalam studi ini data pendukung yang digunakan adalah data geologi.

4.1.1 Data Geologi

Karakteristik daerah Kalimantan Barat, terutama penyebaran batuan vulkanik dan intrusif tersier serta batuan plutonik kapur yang mengintrusi formasi sedimen. Dilihat dari tekstur tanahnya, sebagian besar daerah Kalimantan Barat terdiri dari jenis tanah PMK, tanah OGH dan tanah alluvial yang merupakan jenis tanah daerah penelitian.

Topografi atau keadaan ketinggian tanah secara umum dataran Kalimantan Barat merupakan dataran rendah dan cenderung terletak di sepanjang sungai, menghampar dari bagian barat ke timur. Kemiringan tanah di Propinsi Kalimantan Barat terkait dengan fungsi penggunaan lahan yang mana kemiringan tanahnya memudahkan untuk digunakan sebagai kawasan konstruksi bangunan.



Gambar 4.1. Model perlapisan di sungai

4.1.2 Data GPR

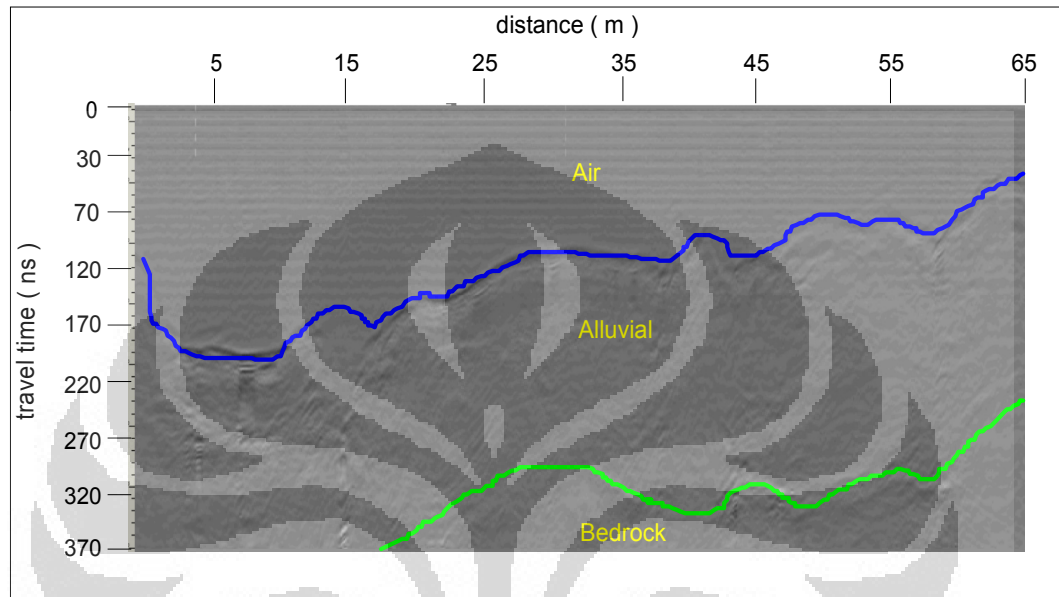
Tujuan dilaksanakannya pengukuran GPR ini adalah untuk mengetahui kedalaman dasar sungai dan bedrock berdasarkan perbedaan konstanta dielektrik yang terdapat pada masing – masing lapisan. Kontras konstanta dielektrik pada lapisan batuan akan menyebabkan perbedaan kecepatan perambatan gelombang dan perbedaan amplitudo dari sinyal refleksi. Berdasarkan perbedaan konstanta dielektrik yang menyebabkan perbedaan amplitudo sinyal refleksi, maka dapat diidentifikasi lapisan – lapisan yang dilalui oleh gelombang elektromagnetik tersebut.

Sesuai dengan penampang perlapisan di sungai mulai dari atas ke bawah umumnya terdiri dari 3 lapisan yaitu air, lapisan alluvial dan bedrock. Ke-tiga lapisan ini memiliki konstanta dielektrik dan konduktivitas serta porositas yang berbeda – beda. Untuk membedakan lapisan – lapisan ini maka pada tahap pengolahan data dilakukan proses untuk mendapatkan visualisasi agar mempermudah dalam interpretasi data. Konstanta dielektrik yang digunakan sama untuk lapisan yang sama pada masing – masing *line*.

Pada *line* 1 - 4 tampak kontras konstanta dielektrik pada bidang batas lapisan yang memberikan gambaran untuk mengidentifikasi reflektor atau lapisan pemantul. Reflektor ini menjadi parameter untuk membedakan lapisan atas dengan lapisan di bawahnya. Terdapat 3 lapisan yang disebut sebagai penampang yaitu air, lapisan alluvial dan bedrock. Ke-tiga lapisan ini dibatasi oleh 2 reflektor yang ditandai dengan garis berwarna biru yaitu batas antara air dengan lapisan alluvial, garis berwarna hijau yaitu batas antara lapisan alluvial dengan bedrock.

Air merupakan lapisan yang resistif dan sedikit menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini sangat kuat karena absorpsi energi gelombang radarnya kecil. Pada umumnya konstanta dielektrik yang digunakan untuk lapisan air adalah 80 (Basson, 2000). Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 33 m/ μ s. Dari hasil interpretasi, kedalaman air pada *line*-2 diperkirakan 0-6,5 m. Pada lapisan ini faktor atenuasi cukup signifikan, karena air mempunyai konstanta dielektrik yang besar. Hal ini berpengaruh pada penetrasi gelombang radar.

Lapisan alluvial merupakan lapisan yang konduktif dan kandungan air yang banyak karena ada kontak langsung dengan air dibandingkan lapisan bedrock menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini lemah karena absorpsi energi gelombang radarnya lebih besar.



Gambar 4.2. Hasil pemodelan data *line – 2*

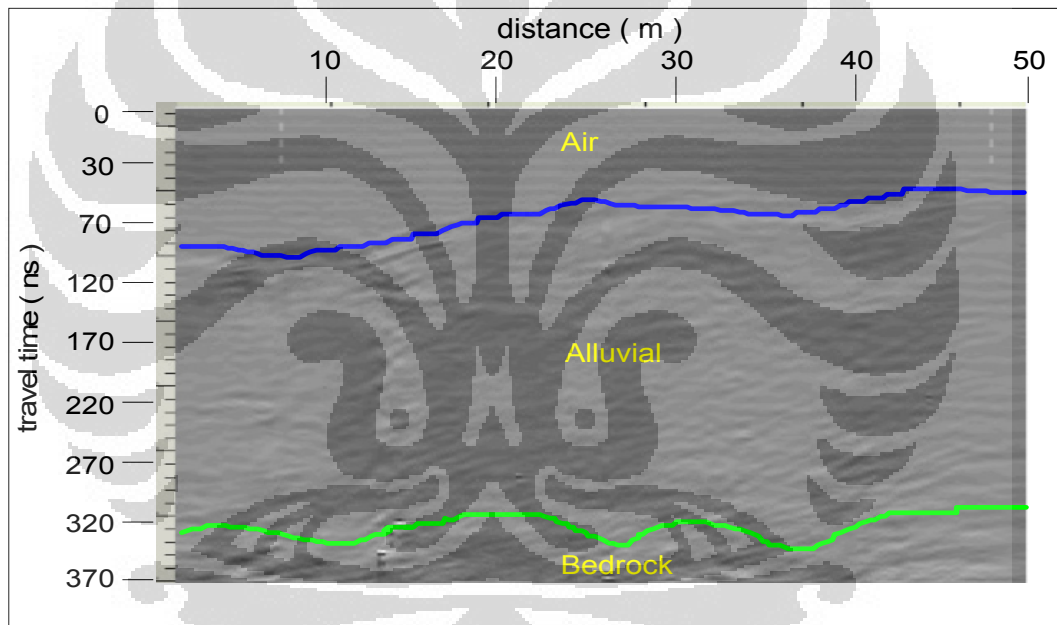
Selain itu juga nilai konstanta dielektrik yang cukup besar sangat berpengaruh pada besarnya faktor atenuasi. Jadi bisa diperkirakan pada lapisan ini faktor atenuasi terjadi paling besar dibanding dengan lapisan lainnya. Pada lapisan alluvial konstanta dielektrik yang digunakan adalah 25 (Basson, 2000). Kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 60 m/ μ s. Kedalaman lapisan ini diperkirakan sekitar 1,5 – lebih dari 12,5 m.

Lapisan bedrock merupakan lapisan yang lebih resistif dibandingkan dengan lapisan alluvial dan kandungan air lebih sedikit dibandingkan dengan lapisan alluvial menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini lebih kuat karena absorpsi energi gelombang radarnya kecil. Pada lapisan bedrock konstanta dielektrik yang digunakan adalah 9 (Arcone and Peapples, 2003). Kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 100 m/ μ s. Kedalaman lapisan ini diperkirakan sekitar 8,5 – lebih dari 12,5 m. Berdasarkan kecepatan dan *travel time* pada masing-masing lapisan didapatkan V_{rms} untuk line-2 sebesar

67 m/ μ s. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 2 tampak pada Gambar 4.2 diatas dan nilai parameter fisis hasil interpretasi terlihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Nilai parameter fisis hasil interpretasi data *line* - 2

LAPISAN	ϵ	$v(m/\mu s)$	Depth(m)
Air	80	33	0 – 6,5
Alluvial	25	60	1,5 - >12,5
Bedrock	9	100	8,5 - >12,5



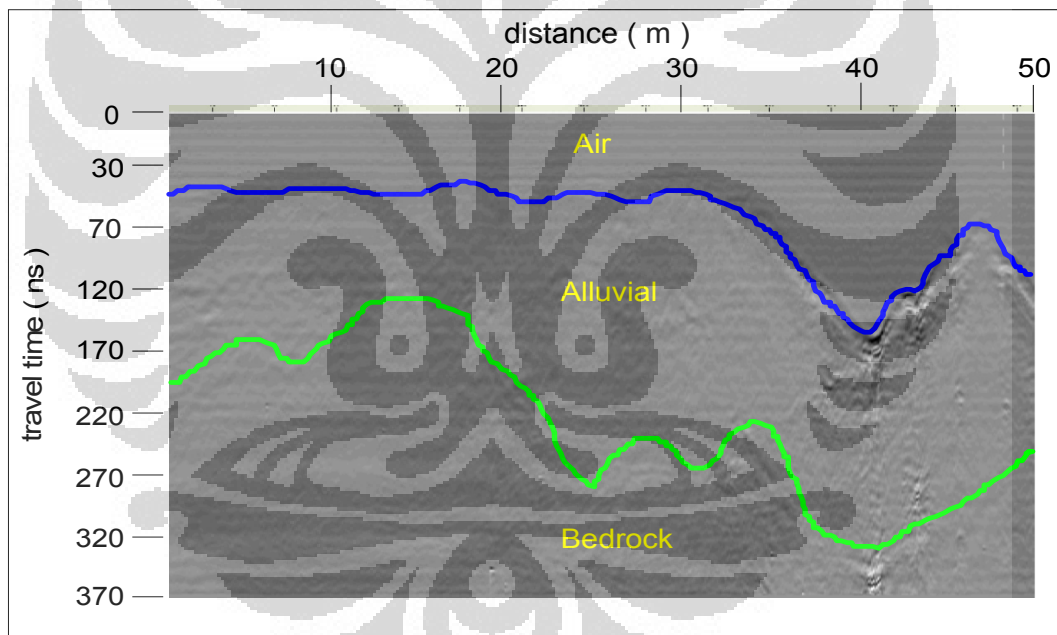
Gambar 4.3. Hasil pemodelan data *line* – 3

Untuk *line* – 3 interpretasi data dilakukan dengan menggunakan nilai konstanta dielektrik lapisan batuan yang sama dengan *line* – 2. Konstanta dielektrik yang digunakan untuk lapisan air adalah 80, untuk lapisan alluvial adalah 25, dan untuk lapisan bedrock adalah 9. Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan air adalah sekitar 33 m/ μ s, pada lapisan alluvial adalah sekitar 60 m/ μ s, dan pada lapisan bedrock adalah sekitar 106 m/ μ s. Dari hasil interpretasi kedalaman lapisan air diperkirakan 0-4 m,

kedalaman lapisan alluvial diperkirakan sekitar 2-12,5 m, dan kedalaman lapisan bedrock diperkirakan sekitar 12,5 - lebih dari 15 m. Pada line- 3 diperoleh V_{rms} sebesar 80 m/ μ s. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 3 tampak pada Gambar 4.3 diatas dan nilai parameter fisis hasil interpretasi terlihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Nilai parameter fisis hasil interpretasi data *line* - 3

<i>LAPISAN</i>	ϵ	$v(m/\mu s)$	<i>Depth(m)</i>
Air	80	33	0 – 4
Alluvial	25	60	2 – 12,5
Bedrock	9	100	12,5 - >15



Gambar 4.4. Hasil pemodelan data *line* – 4

Untuk *line* – 4 interpretasi data dilakukan dengan menggunakan nilai konstanta dielektrik lapisan batuan yang sama dengan *line* – 2 dan *line* - 3. Konstanta dielektrik yang digunakan untuk lapisan air adalah 80, untuk lapisan alluvial adalah 25, dan untuk lapisan bedrock adalah 9. Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan air adalah sekitar 33 m/ μ s, pada lapisan alluvial adalah sekitar 60 m/ μ s, dan pada lapisan bedrock

adalah sekitar 100 m/μs. Dari hasil interpretasi kedalaman air diperkirakan 0-6,5 m, kedalaman lapisan alluvial diperkirakan sekitar 4-13 m, dan kedalaman lapisan bedrock diperkirakan sekitar 5 - lebih dari 15,5 m. Pada line-4 didapatkan V_{rms} sebesar 83 m/μs. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 4 tampak pada Gambar 4.4 dan nilai parameter fisis hasil interpretasi terlihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Nilai parameter fisis hasil interpretasi data *line* - 4

<i>LAPISAN</i>	ϵ	$v(m/\mu s)$	<i>Depth(m)</i>
Air	80	33	0 – 6,5
Alluvial	25	60	4 – 13
Bedrock	9	100	5 - >15,5

Untuk *line* – 1 interpretasi data dilakukan dengan menggunakan nilai konstanta dielektrik lapisan batuan yang sama dengan *line* – 2, *line* – 3, dan *line* - 4. Konstanta dielektrik yang digunakan untuk lapisan air adalah 80, untuk lapisan alluvial adalah 25, dan untuk lapisan bedrock adalah 8. Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan air adalah sekitar 30 m/μs, pada lapisan alluvial adalah sekitar 60 m/μs, dan pada lapisan bedrock adalah sekitar 100 m/μs. Dari hasil interpretasi kedalaman lapisan air diperkirakan 0-12,5 m, kedalaman lapisan alluvial diperkirakan sekitar 1,5 – lebih dari 13,5 m, dan kedalaman lapisan bedrock diperkirakan sekitar 6 – lebih dari 13,5 m. Pada line-1 didapatkan V_{rms} sebesar 73 m/μs. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 1 tampak pada Gambar 4.5 dan nilai parameter fisis hasil interpretasi terlihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Nilai parameter fisis hasil interpretasi data *line* - 1

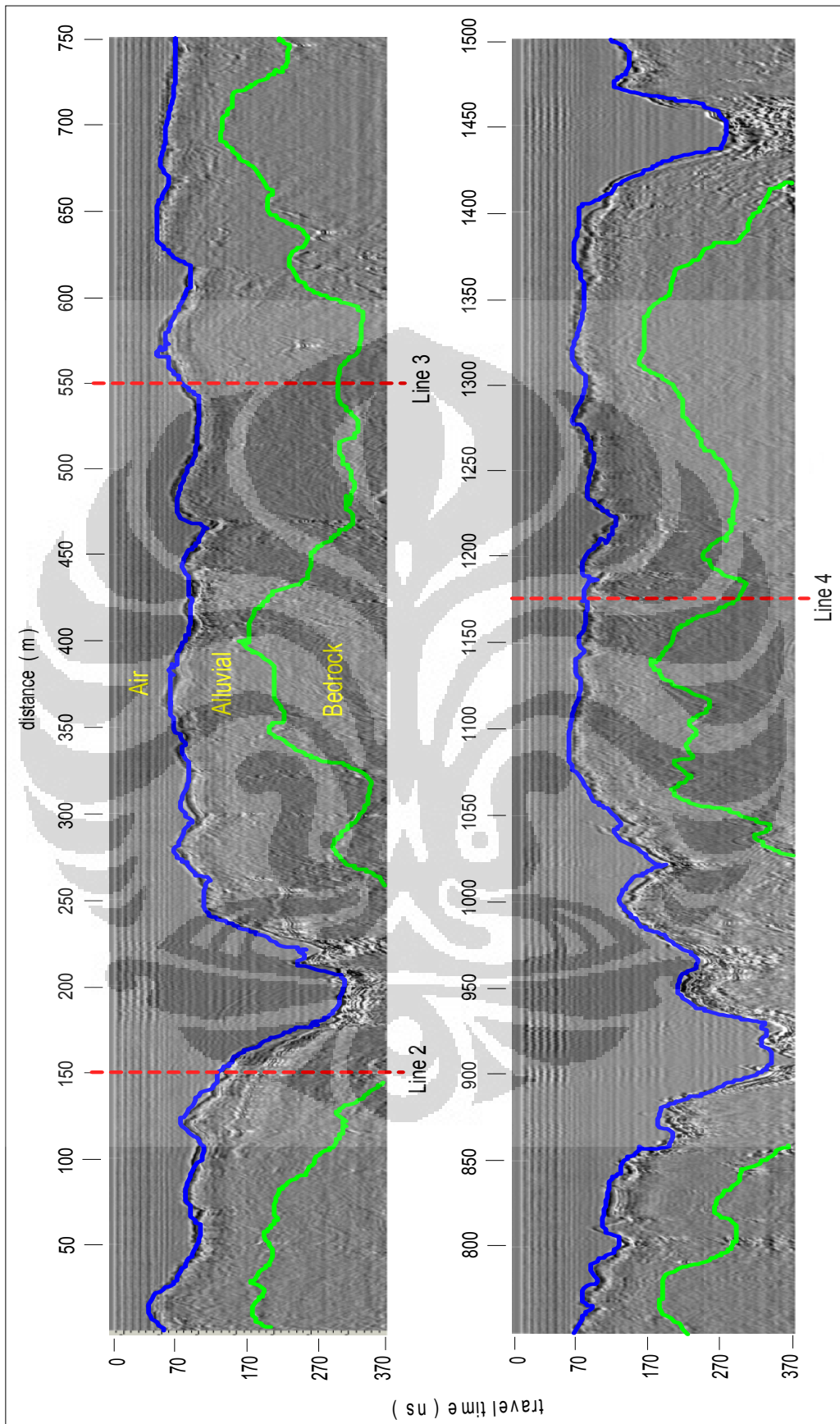
<i>LAPISAN</i>	ϵ	$v(m/\mu s)$	<i>Depth(m)</i>
Air	80	33	0 – 12,5
Alluvial	25	60	1,5 - >13,5
Bedrock	9	100	6 - >13,5

4.2 Analisis Data Keseluruhan

Pembahasan dalam sub-bab ini merupakan analisis gabungan dari hasil interpretasi data GPR yang telah dilakukan dengan ditunjang oleh data geologi. Dari analisis ini diharapkan dapat memprediksi batas antar lapisan di sungai. Dari analisis ini juga diharapkan dapat diketahui kedalaman masing – masing lapisan tersebut yang selanjutnya dijadikan sebagai parameter untuk rekomendasi penentuan tempat tiang pancang dan menentukan ukuran perahu yang bisa melewati sungai tersebut.

Dari data geologi regional menyebutkan bahwa daerah penelitian secara regional didominasi oleh kelompok batuan vulkanik. Berdasarkan data geologi regional ini, maka batuan vulkanik kami anggap sebagai batuan dasar sungai.

Dari hasil interpretasi data GPR yang dilakukan telah diketahui zona – zona batas antar lapisan di sungai yaitu: dasar sungai, lapisan alluvial, dan bedrock. Dari hasil interpretasi menunjukkan kedalaman masing – masing lapisan ini sangat bervariasi. Rata-rata kedalaman bedrock pada lintasan pengukuran adalah 8 m, dengan kedalaman minimal 5 m dan maksimal 15,5 m. Kedalaman yang diperoleh dari hasil interpretasi ini dapat dikatakan mendekati kedalaman yang sebenarnya.



Gambar 4.5. Hasil pemodelan data line -- 1

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan interpretasi serta analisis data utama (data GPR) dengan data pendukung lainnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

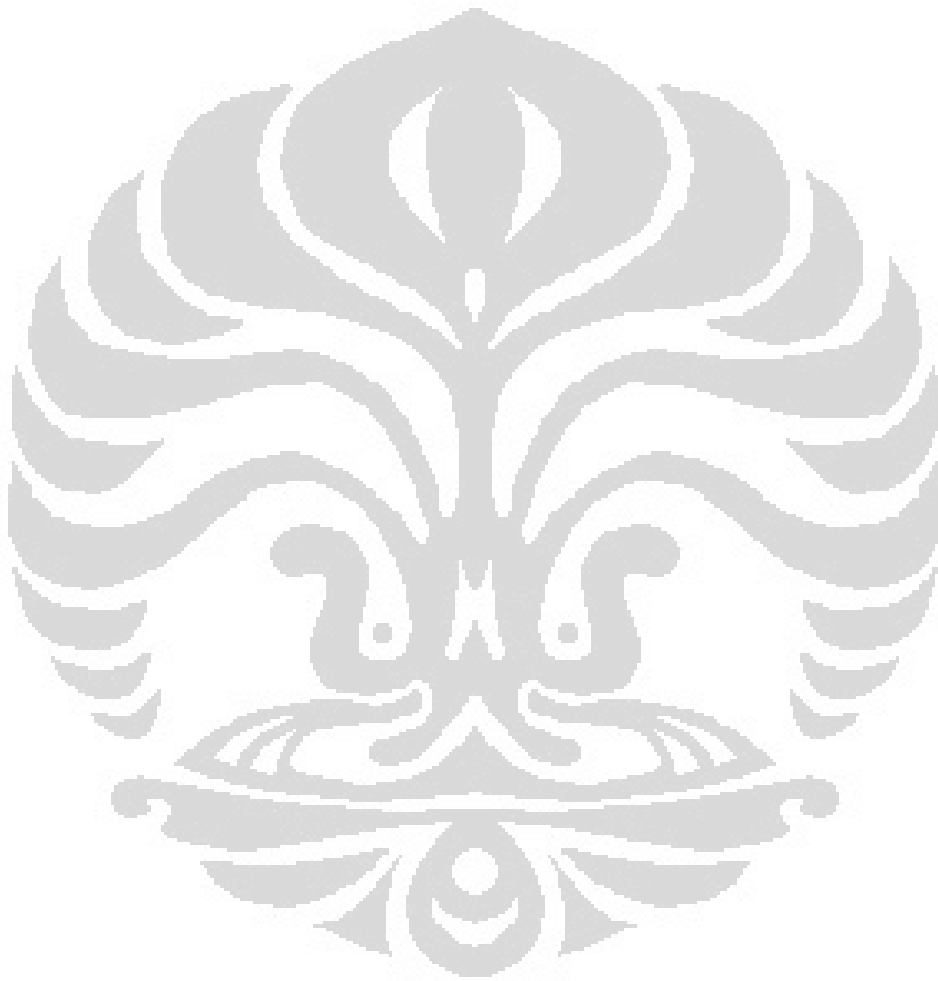
1. Metode GPR bekerja berdasarkan prinsip perambatan gelombang elektromagnetik. Keberhasilan metode ini mendeteksi bidang batas antar lapisan terletak pada kontras konstanta dielektrik pada masing – masing lapisan.
2. Penetrasi metode GPR sangat bergantung pada besar kecilnya frekuensi yang digunakan. Data yang digunakan adalah hasil pengukuran dengan frekuensi 80 MHz dan berhasil mendeteksi sampai kedalaman sekitar 15,5 m.
3. Pada penelitian ini metode GPR berhasil mendeteksi kedalaman dasar sungai dan lapisan alluvial, tetapi kurang berhasil dengan baik dalam mendeteksi kedalaman batuan dasar sungai
4. Berdasarkan hasil interpretasi didapatkan kedalaman air, lapisan alluvial, dan bedrock yang bervariasi pada masing – masing line. Kedalaman rata-rata bedrock adalah 8 m, dengan variasi kedalaman 5 m sampai 15,5 m.

5.2 Saran

Untuk keperluan studi lebih lanjut dan memaksimalkan hasil penelitian, perlu diberikan saran-saran sebagai berikut. :

1. Perlu dilakukan pengukuran dengan frekuensi antena lebih kecil dari 80 Mhz, karena menggunakan antena dengan frekuensi lebih kecil faktor atenuasi berkurang dan penetrasi gelombang radar juga akan semakin dalam. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui lapisan batuan dasar sungai.

2. Perlu dilakukan pengukuran data Common Mid Point (CMP) untuk mengetahui variasi kecepatan gelombang radar pada masing – masing lapisan. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui secara pasti batas antar lapisan tersebut melalui metode analisis kecepatan sehingga dapat diketahui kedalaman yang sebenarnya dari masing – masing lapisan tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Annan, A.P. 2001. *Ground Penetrating Radar Workshop Notes*. Canada. pp. 118-131.
- Arcone, Steven A., and Peapples, Paige R. 2003. *Propagation of Ground Penetrating Radar Pulse in Thin Surface*. *Geophysics*. pp.1922-1933.
- Basson, After. 2000. *Ground Penetrating Radar*. Environmental and Engineering Center. Geoscience Canada.
- Henry, Kalam. 2008. *Deteksi Keberadaan Endapan Nikel Laterit Dengan Pemanfaatan Gelombang Radar*, Skripsi Sarjana FMIPA Universitas Indonesia, Depok,
- Mussett, Alan E., and Khan, M. Aftab. 1993. *Looking Into The Earth*. Cambridge University Press, New York. pp. 227-270.
- Reynold, J. M., 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. England, John Wiley and Sons, inc. pp. 688-719.
- Telford, W.M., Geldart, L.P, and Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Australian and New York. pp. 168.
- Tim Eksplorasi Mempawah Kalimantan Barat 2008. *Sungai Mempawah*. PT. Antam Tbk Unit Geomin Jakarta. pp. 1-8.