

**DETEKSI KEBERADAAN ENDAPAN BAUKSIT LATERIT
DENGAN PEMANFAATAN GELOMBANG RADAR**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Fisika**

Oleh

**SEANKO NERI ANGGI
0305020845**



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

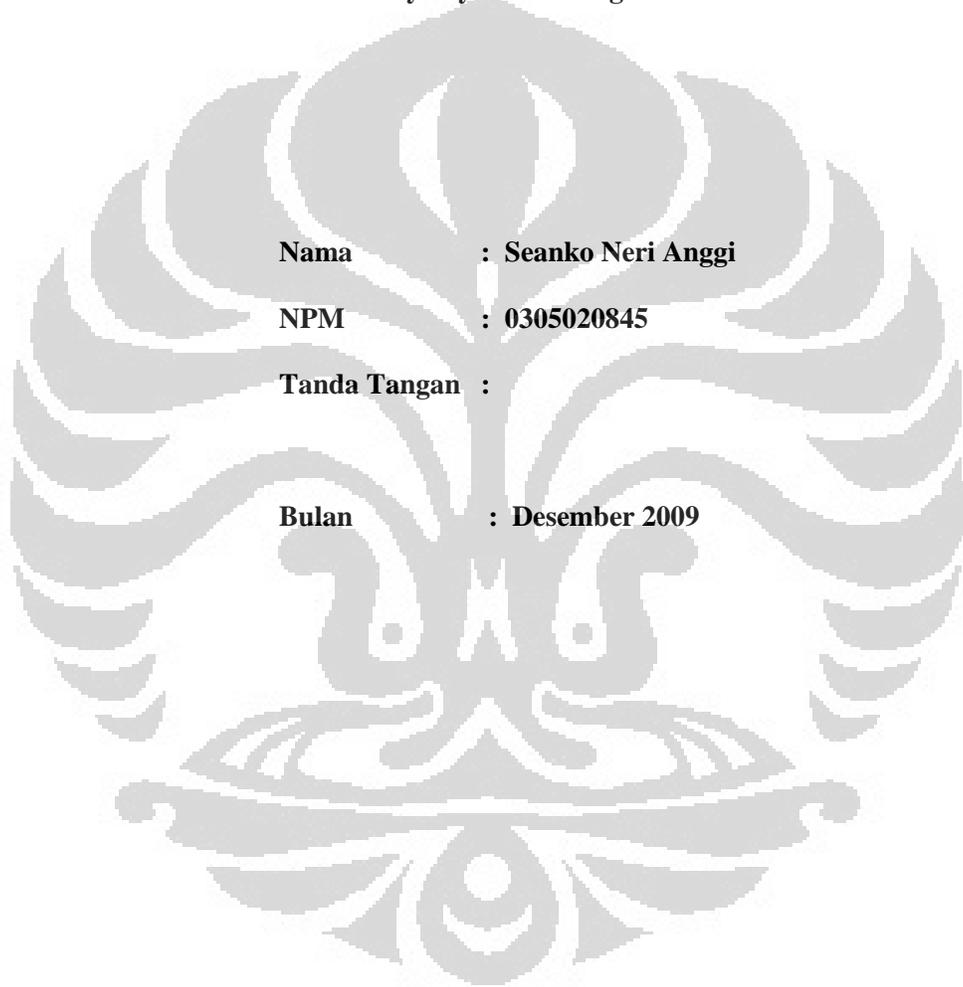
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Seanko Neri Anggi

NPM : 0305020845

Tanda Tangan :

Bulan : Desember 2009



LEMBAR PENGESAHAN

Nama Mahasiswa : Seanko Neri Anggi
N P M : 0305020845
Departemen : Fisika
Peminatan : Geofisika
Tanggal Sidang : 28 Nopember 2009
Judul Skripsi : Deteksi Keberadaan Endapan Bauksit Laterit
dengan Pemanfaatan Gelombang Radar

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh

Dr. Syamsu Rosid
Pembimbing

Dr. Supriyanto
Penguji I

Dr. Waluyo
Penguji II

Dr. Santoso Soekirno
Ketua Departemen Fisika

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME karena berkat dan anugerahnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Deteksi Keberadaan Endapan Bauksit Laterit dengan Pemanfaatan Gelombang 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:

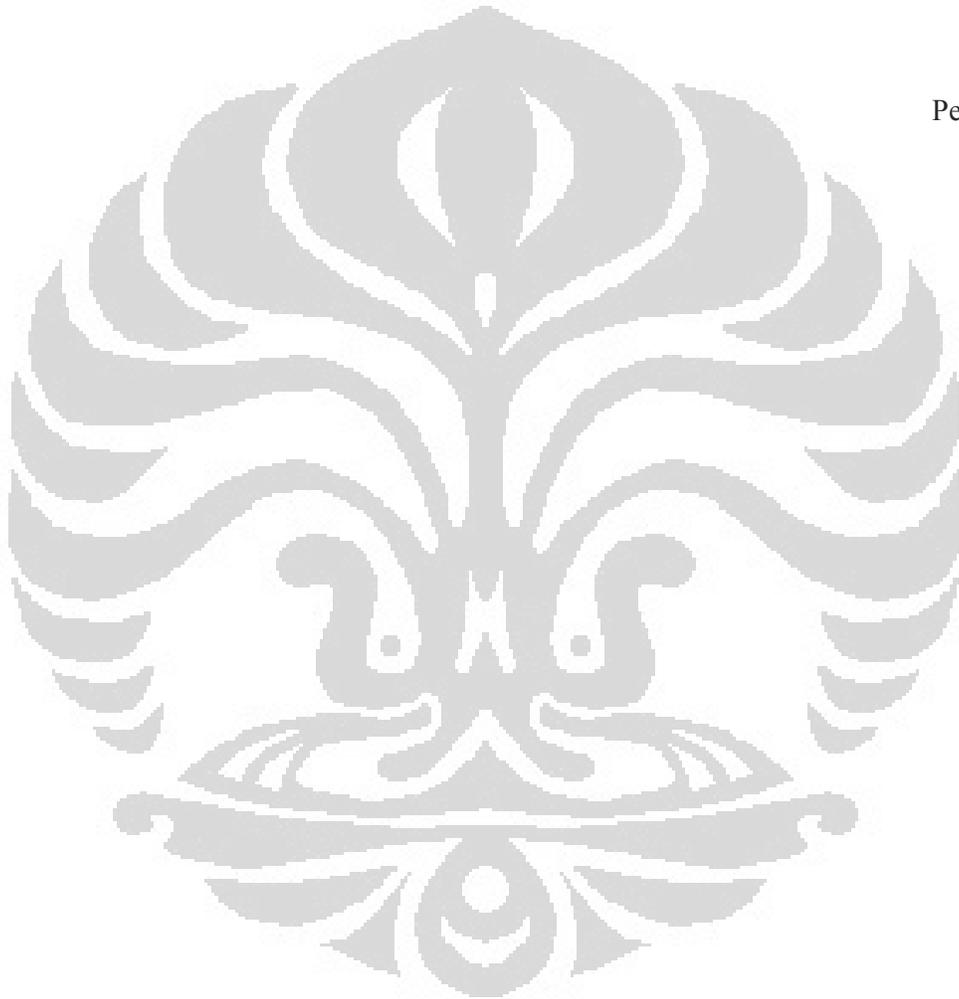
1. Bapak DR. Syamsu Rosid, selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak M. Akbar, *geophysicist* PT. Antam yang telah meluangkan waktu di tengah-tengah kesibukannya untuk membimbing dan mengajari penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Rekan-rekan di PT. Aneka Tambang Tbk. khususnya Unit Geomin, Pak Joko, Tigin, atas segala bimbingan, diskusi dan fasilitas yang telah diberikan.
4. Orang tua, kakak, adik, dan keluarga tercinta yang terus memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Rekan-rekan fisika'05 Opi, Ira, Vici, Rahmah yang telah banyak memberikan semangat, serta Errin yang selalu memberikan dukungan dan saran kepada penulis.
6. Rekan-rekan yang sama-sama mengerjakan tugas akhir semester ini yang telah memberikan banyak informasi yang berhubungan dengan penyelesaian tugas akhir ini.
7. Staf tata usaha Departemen fisika, Mba Ratna dan Pak Mardy atas bantuannya dalam mengurus administrasi semasa kuliah terutama saat penyusunan skripsi ini.
8. Semua Dosen di Departemen Fisika yang selama masa perkuliahan telah banyak memberikan ilmu dan nasehat kepada penulis.
9. Sahabat-sahabat penulis yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis.

10. 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, Nopember 2009

Penulis



Nama : Seanko Neri Anggi
Program Studi : S1 Fisika
Judul : Deteksi Keberadaan Endapan Bauksit Laterit dengan
Pemanfaatan Gelombang Radar

ABSTRAK

Metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* yang diaplikasikan untuk mendeteksi zona-zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit dan kedalamannya didasarkan pada perbedaan konstanta dielektrik pada batas lapisan. Data yang digunakan terdiri dari 3 *line* dan diolah dengan menggunakan *software* radan. Dari hasil pengolahan data ini selanjutnya akan dilakukan interpretasi untuk menentukan zona-zona pembentukan endapan bauksit laterit. Zona tersebut adalah top soil, lapisan nodular, dan lapisan intermediate. Data yang mendukung data GPR ini adalah data geologi, data CMP dan data sumur bor. Data geologi regional menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh batuan granit, diorit dan gabro yang merupakan batuan dasar pembentukan endapan bauksit laterit. Data CMP digunakan untuk menentukan kecepatan dan konstanta dielektrik dari masing – masing lapisan. Data sumur bor digunakan sebagai pembanding data GPR menyangkut kedalaman lapisan-lapisan yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit.

Kata kunci: *Ground Penetrating Radar (GPR)*, Bauksit, Laterit, Radan, Top Soil, Nodular, Intermediate, Bedrock, CMP, Sumur Bor

Daftar Acuan: 11 (1972-2009)

Name : Seanko Neri Anggi
Study Program : First graduate of physics
Title : Detection Existence of Sedimentary Laterite Bauxite
Using Radar Wave

ABSTRACT

The Ground Penetrating Radar (GPR) method has been applied to detect zones of laterite bauxite deposit and its depth based on different dielectric constant reflector. The data that used consist of 3 line and already processed by using radan software. From the result of data processing, the interpretation has been done to define the zones of laterite bauxite. The zones are top soil, nodular layer, and intermediate layer. The data that support GPR data are regional geology data, CMP data and well log data. Regional geology data show that the research site is dominated by granite, diorite and gabro which is the bedrock of laterite bauxite deposit. CMP data used to define a velocity and dielectric constant in each layer. Well log data used as GPR data comparison to correlate the depth of layers related to forming laterite bauxite deposit.

Key Word: Ground Penetrating Radar (GPR), Bauxite, Laterite, Radan Software, Top Soil, Nodular, Intermediate, Bedrock, CMP, Well Log

References: 11 (1972-2009)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PANGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Ruang lingkup masalah	4
1.4 Metodologi Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II METODE GPR DAN GEOLOGI REGIONAL	
DAERAH PENELITIAN	8
2.1 Persamaan Gelombang Untuk GPR	8
2.2 Prinsip Dasar GPR	10
2.3 Kecepatan, Penetrasi, dan Resolusi Gelombang Radar	11
2.4 Perambatan Gelombang dalam Tanah	12
2.5 Metode pengukuran GPR	15
2.5.1 Fixed T/R Offset Mode Continuous	15
2.5.2 Fixed T/R Offset Mode Static Stacking	15
2.5.3 Common Mid-Point Mode Static Stacking	16
2.6 Geologi Regional dan Geomorfologi Daerah Penelitian	16
2.7 Geologi Bauksit Laterit	18
2.7.1 Genesa Bauksit Laterit	18
2.7.2 Penampang Laterit	19

2.7.3 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Laterisasi	20
--	----

BAB III DATA DAN PENGOLAHAN DATA..... 22

3.1 Data Lapangan	22
3.2 Pengolahan Data	24
3.2.1 Horizontal Scaling	24
3.2.2 Penguatan Amplitudo.....	25
3.2.3 Filtering Data	27
3.2.4 Deconvolution.....	28
3.2.5 Distance Normalization	30
3.2.6 Koreksi Statik	31
3.2.7 Koreksi Posisi	33
3.2.8 Migrasi	34

BAB IV INTERPRETASI DAN ANALISIS DATA 37

4.1 Interpretasi Data.....	37
4.1.1 Data Geologi.....	37
4.1.2 Data CMP	38
4.1.3 Data GPR.....	39
4.1.4 Data Sumur Bor.	43
4.2 Analisis Data Keseluruhan.....	45

BAB V KESIMPULAN 49

5.1 Kesimpulan.....	49
5.1 Saran.....	50

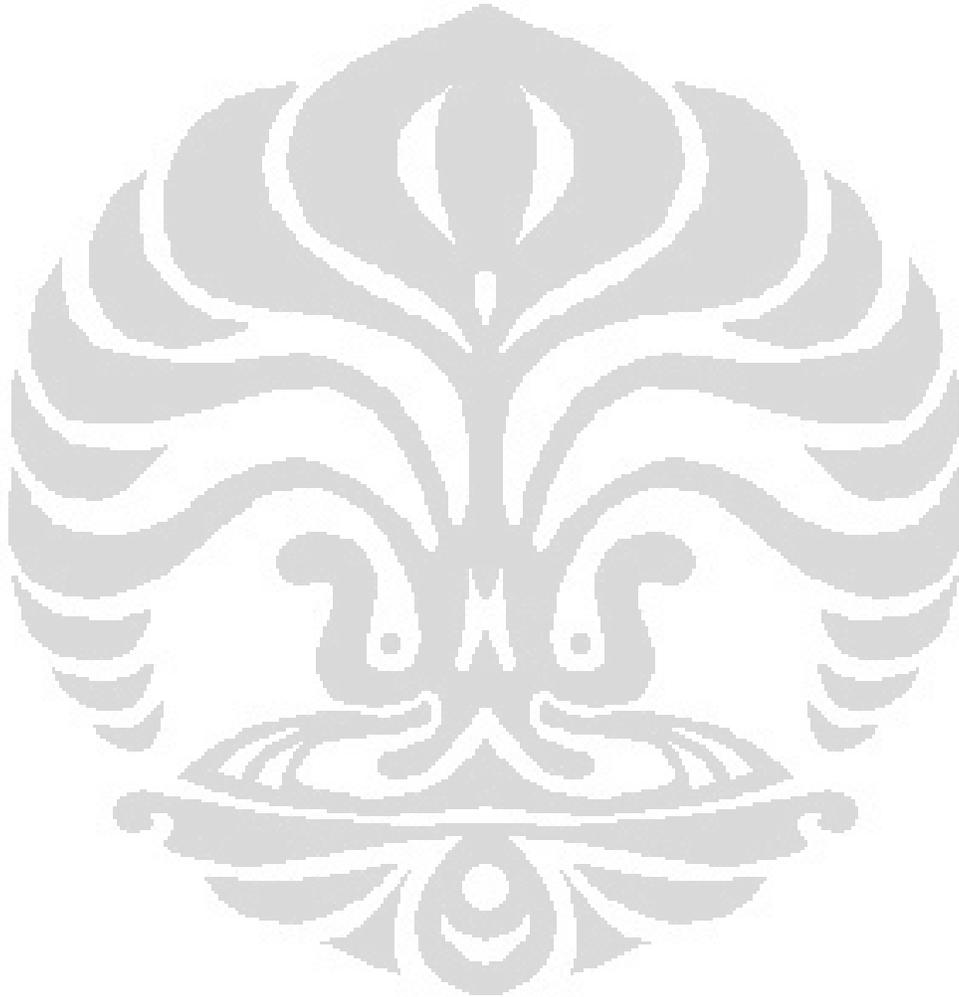
REFERENSI 51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kondisi Bawah Permukaan dari Endapan Bauksit Laterit.....	2
Gambar 1.2	Diagram Alir Kerja Penelitian	6
Gambar 2.1	Perambatan Gelombang EM	14
Gambar 2.2	Konfigurasi Fixed T/R Offset	15
Gambar 2.3	Konfigurasi Common Mid Point (CMP)	16
Gambar 2.4	Model Geofisika Endapan Bauksit Laterit	21
Gambar 3.1	Peta Lintasan Pengukuran.....	22
Gambar 3.2	Data Lapangan	23
Gambar 3.3	Data Hasil Proses Horizontal Scaling	25
Gambar 3.4	Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo	27
Gambar 3.5	Data Hasil Proses Filtering Data.....	28
Gambar 3.6	Data Hasil Proses Deconvolution	30
Gambar 3.7	Data Hasil Proses Distance Normalization	31
Gambar 3.8	Data Hasil Proses Koreksi Statik	33
Gambar 3.9	Data Hasil Proses Koreksi Posisi.....	34
Gambar 3.10	Data Hasil Proses Migrasi.....	36
Gambar 4.1	Model Perlapisan Endapan Bauksit Laterit.....	38
Gambar 4.2	Data CMP.....	38
Gambar 4.3	Hasil pemodelan Data <i>Line-1</i>	40
Gambar 4.4	Hasil pemodelan Data <i>Line-4</i>	41
Gambar 4.5	Hasil pemodelan Data <i>Line-037</i>	42
Gambar 4.6	Data Sumur Bor <i>Line - 1</i>	43
Gambar 4.7	Data Sumur Bor <i>Line - 4</i>	44
Gambar 4.8	Penampakan lintasan <i>Line - 037</i>	44
Gambar 4.9	Korelasi data sumur bor dan data GPR <i>Line - 1</i>	46
Gambar 4.10	Korelasi data sumur bor dan data GPR <i>Line - 4</i>	47
Gambar 4.11	Data GPR <i>Line - 037</i> dan penampakan fisik daerah pengukuran.....	48

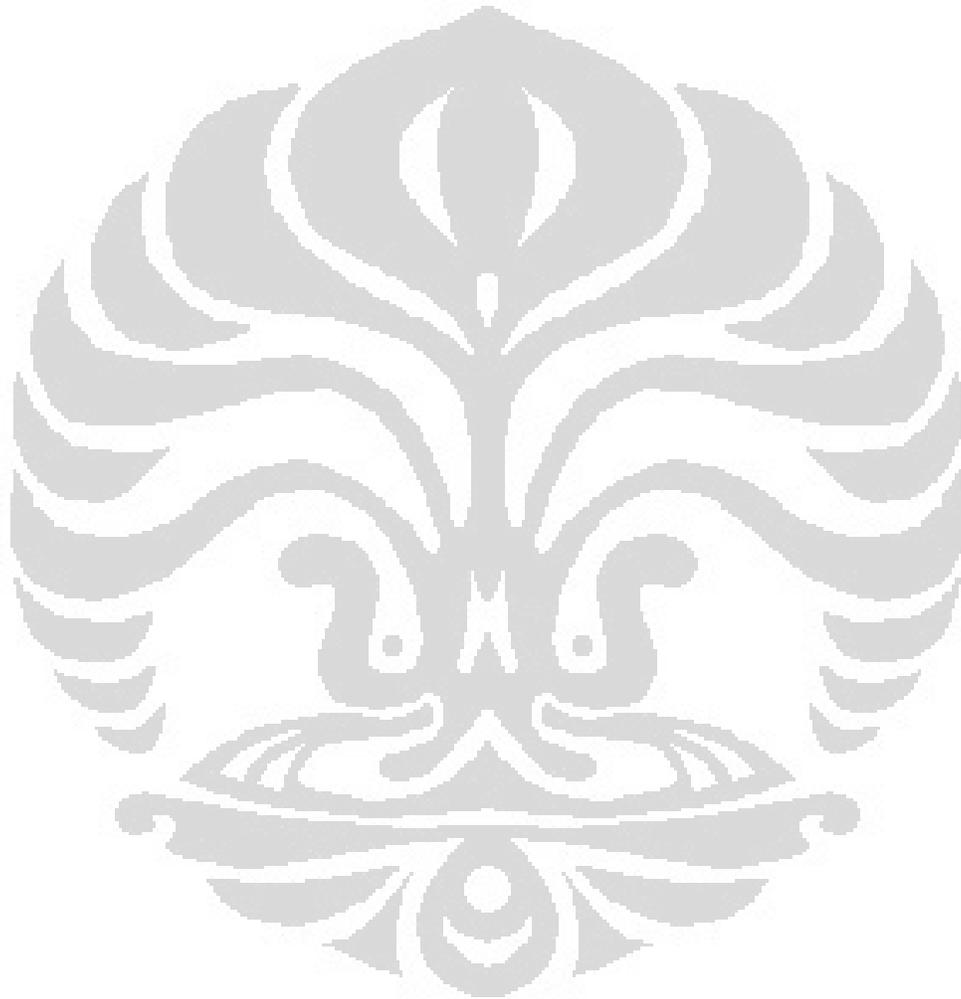
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Parameter Fisis Material	13
Tabel 4.1 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 1	41
Tabel 4.2 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 4	42
Tabel 4.3 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 037	43



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	52
Lampiran 2	53



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bauksit merupakan salah satu mineral yang memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi. Seiring dengan perkembangan zaman kebutuhan akan bauksit semakin meningkat, sehingga dituntut agar dapat meningkatkan produksi bauksit. Di Indonesia, bauksit banyak dimanfaatkan dalam beragam jenis industri, diantaranya industri otomotif, bahan bangunan, industri pesawat dan perkapalan. Bauksit akan menjadi alloy apabila di campur dengan nikel, baja, atau tembaga, yang mana dapat dimanfaatkan dalam beragam jenis industri tersebut.

Sama halnya dengan eksplorasi lainnya, eksplorasi bauksit juga membutuhkan suatu tahapan pemboran, yang mana satu kali pemboran membutuhkan biaya yang sangat mahal. Untuk meningkatkan “*drilling success ratio*” dibutuhkan informasi detail mengenai data geologi dan data geofisika yang akan digunakan dalam menentukan titik pemboran. Data geologi dan data geofisika dapat membantu dalam penentuan titik bor, sehingga akan mengurangi resiko kegagalan dalam eksplorasi (Kalam, 2008).

Informasi geologi dalam pembentukan bauksit laterit meliputi struktur, unsur-unsur dasar pembentuk endapan bauksit laterit dan bagaimana proses pengendapan itu terjadi. Struktur yang sangat mempengaruhi dan berperan penting dalam proses terjadinya endapan bauksit laterit adalah adanya struktur rekahan-rekahan dan daerah yang relatif landai. Keberadaan struktur ini akan mempermudah air masuk sehingga proses pelapukan akan lebih intensif. Bauksit laterit terbentuk melalui proses pelapukan batuan yang mengandung aluminium seperti nepheline, syenit, granit, diorit, andesit, gabro, basalt, kaolinitic, shale, hornfels, schist, slate, dan limestone (www.miningunited.blogspot.com) pada kondisi subtropis hingga tropis, yang mana maksimum temperatur dari kontrol pembentukan bauksit adalah 22 derajat celcius dan curah hujan rata-rata 1200 mm/tahun.

Bauksit mengandung unsur aluminium hidroksida (gibsit, boehmit, diaspor), besi oksida (Fe_2O_3), dan sedikit kuarsa (SiO_2), yang mana unsur

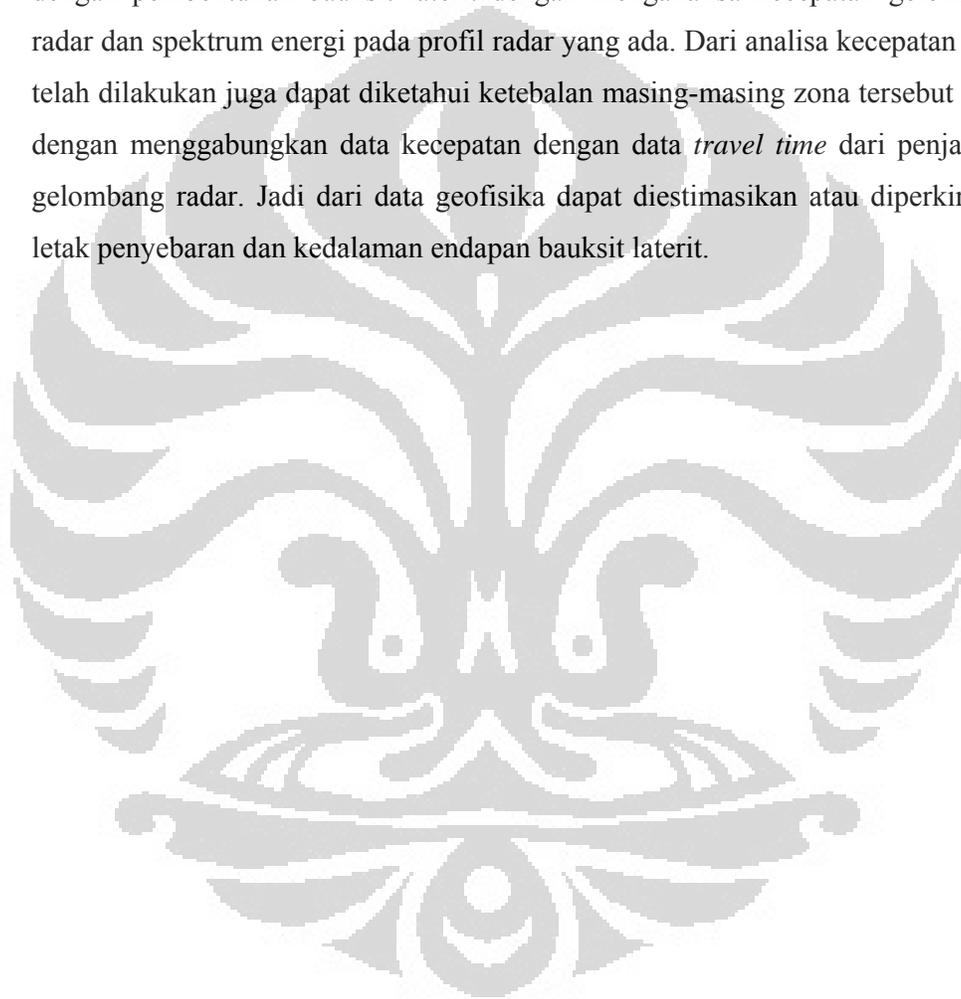
aluminium hidroksida lebih dominan sekitar 45-50% sedangkan kandungan besi oksida kecil dari 20% (Valeton, 1972). Bauksit di Indonesia komposisi mineralnya adalah Gibsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), apabila mengalami pemanasan akan berubah menjadi aluminium oksida (Al_2O_3) yang disebut sebagai alumina. Bauksit dapat terbentuk dari batuan yang bebas kuarsa (49 %), sedikit kuarsa (48 %) dan dengan kadar kuarsa tinggi (3 %). Keadaan cuaca telah merubah komposisi batuan sehingga mengalami proses laterisasi. Pada musim hujan, air masuk memasuki rekahan-rekahan dan menghanyutkan unsur yang mudah larut, sementara unsur yang sukar larut atau tidak larut akan tertinggal di dalam batuan induk. Residu yang tertinggal disebut laterit yang kaya dengan aluminium hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3$, kemudian melalui proses dehidrasi akan mengeras menjadi bauksit.

Zona yang berasosiasi dengan pembentukan bauksit laterit adalah top soil, zona laterit yaitu zona nodular dan intermediate, serta bedrock. Pada zona nodular didominasi oleh mineral gibsit dan hematit, yang mana zona ini kandungan air tanahnya sedikit sehingga bersifat resistif. Pada zona ini, hampir semua unsur-unsur yang mudah larut hilang terubah oleh unsur-unsur yang dibawa oleh air hujan. Zona intermediate terdapat di bawah zona nodular yang mana lebih konduktif dibandingkan dengan zona nodular, pada zona ini terdapat mineral clay (lempung). Zona ini merupakan zona pelindian yang merupakan zona transisi dari zona nodular ke bedrock di bawahnya. Pada lapisan bedrock, tekstur dari source rock terlihat sangat jelas sehingga lebih bersifat resistif.



Gambar 1.1 Kondisi Bawah Permukaan dari Endapan Bauksit Laterit
(www.bauxiteresources.com.au)

Informasi data geologi ini didukung oleh data geofisika yang dapat melokalisir zona penyebaran bauksit laterit. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk melokalisir keberadaan bauksit laterit adalah metode *Ground Penetrating Radar* (GPR). Metode ini cukup efektif untuk memetakan profil vertikal bawah permukaan. Dari profil radar dapat diketahui lapisan top soil, zona nodular dan intermediate yang merupakan zona yang berasosiasi dengan pembentukan bauksit laterit dengan menganalisa kecepatan gelombang radar dan spektrum energi pada profil radar yang ada. Dari analisa kecepatan yang telah dilakukan juga dapat diketahui ketebalan masing-masing zona tersebut yaitu dengan menggabungkan data kecepatan dengan data *travel time* dari penjalaran gelombang radar. Jadi dari data geofisika dapat diestimasi atau diperkirakan letak penyebaran dan kedalaman endapan bauksit laterit.



1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

- Memahami fenomena penjalaran gelombang elektromagnetik dalam mendeteksi keberadaan endapan bauksit laterit.
- Mengetahui proses pembentukan endapan bauksit laterit serta zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit tersebut.
- Memahami bagaimana urutan processing data GPR mulai dari “*basic processing*” sampai dengan “*advanced processing*”.
- Memahami cara menginterpretasikan dan menganalisis data GPR yang baik dan benar yang bertujuan untuk mengetahui posisi endapan bauksit laterit.

1.3 Ruang lingkup masalah

Dalam penulisan skripsi ini penulis menggunakan data GPR yang merupakan hasil pengukuran di daerah “X” yang terdiri dari 3 lintasan dengan panjang lintasan mulai dari 25 - 75 m. Data ini kemudian diolah dengan menggunakan *software* “radan” yaitu mulai dari *basic processing* yang meliputi :

1. Horizontal scaling

Horizontal scaling merupakan tahapan yang pertama sekali dilakukan dalam pemrosesan data GPR dengan menggunakan *software* radan. Tahapan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengatur skala horizontal dengan cara melakukan proses *skipping* dan *stacking* data.

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 menghilangkan noise seperti sinyal HP dan efek tegangan listrik. Data akan diubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi dengan menggunakan transformasi Fourier. Filter yang

akan digunakan adalah filter *Finite Impulse Response (FIR)* yang terdiri dari *low pass filter*, *high pass filter* dan *band pass filter*.

4. Deconvolution

Proses *deconvolution* merupakan proses untuk menghilangkan multiple – multiple yaitu sinyal refleksi dari lapisan tipis dan sinyal gelombang langsung di permukaan.

5. Distance normalization

Distance normalization merupakan proses untuk menghasilkan data sesuai dengan panjang lintasan pengukuran. Pada proses ini juga dilakukan variasi konstanta dielektrik untuk mendapatkan bidang batas antar lapisan yaitu reflektor sebagai pemantul sinyal dari transmitter.

6. Koreksi statik

Koreksi statik dilakukan untuk menghilangkan perubahan elevasi dan posisi antena GPR yaitu perbedaan posisi ketinggian antara transmitter dan receiver.

7. Koreksi Posisi

Koreksi posisi merupakan pengkoreksian posisi arah vertikal. Koreksi posisi dilakukan agar titik awal perambatan sinyal berada pada skala awal pengukuran yaitu titik 0,0.

8. Migrasi

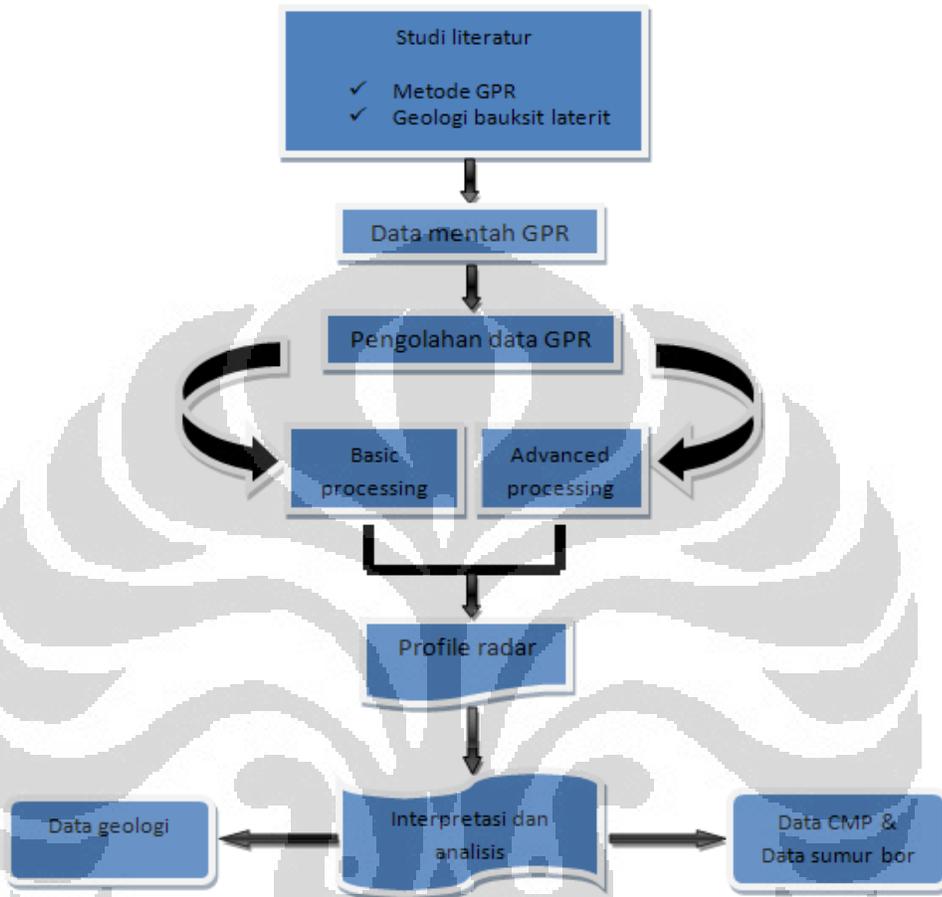
Migrasi merupakan proses menghilangkan efek difraksi dan koreksi lapisan-lapisan miring.

Hasil processing data tersebut akan digunakan untuk menentukan posisi dan penyebaran keberadaan endapan bauksit laterit.

1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan meliputi beberapa tahapan yaitu mulai dari studi literatur yang meliputi metode GPR dan geologi bauksit laterit. Kemudian mendapatkan data geofisika dan data pendukung yaitu data geologi dan data sumur bor. Selanjutnya melakukan pengolahan data geofisika untuk membuat profil radar yang dapat menggambarkan kondisi endapan bauksit laterit di bawah permukaan. Hasil pengolahan data tersebut dan data pendukung seperti data

geologi dan data sumur bor akan diinterpretasikan dan dianalisis untuk melokalisasi keberadaan zona endapan bauksit laterit.



Gambar 1.2. Diagram Alir Kerja Penelitian

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

- **BAB 1 : PENDAHULUAN**
Bab ini berisikan penjelasan mengenai latar belakang masalah, tujuan penelitian, konsep umum pembentukan endapan bauksit laterit, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.
- **BAB 2 : METODE GPR DAN GEOLOGI REGIONAL DAERAH PENELITIAN**

Dalam bab ini menjelaskan tentang teori gelombang untuk GPR, prinsip dasar metode GPR, perambatan gelombang di bawah permukaan yaitu

pada zona-zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit, metode pengukuran GPR, geologi regional daerah penelitian dan geologi pembentukan endapan bauksit laterit.

- **BAB 3 : DATA DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini kemudian dijelaskan mengenai data lapangan yang digunakan dan pengolahan data GPR mulai dari “*basic processing*” sampai dengan “*advanced processing*” dan juga dijelaskan 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 DATA**

Pada bab ini dilakukan pembahasan (interpretasi) hasil pengolahan data kemudian mengkompilaskannya dengan data geologi, data CMP dan data sumur bor. Interpretasi yang akan dilakukan yaitu menentukan zona-zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit, menentukan kecepatan gelombang radar pada zona-zona tersebut, dan menentukan kedalaman zona-zona tersebut.

- **BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN**

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

BAB II
METODE GPR DAN GEOLOGI REGIONAL DAERAH PENELITIAN

2.1 Persamaan Gelombang Untuk GPR

Persamaan gelombang elektromagnetik dapat dijelaskan dengan persamaan Maxwell, yaitu empat persamaan differensial yang menyatakan hubungan antara medan listrik dan medan magnet, yang juga menyatakan arah perambatan, transmisi, refleksi dan juga difraksi pada gelombang elektromagnetik.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{J} + \varepsilon \mu \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.4)$$

dimana : \mathbf{E} = kuat medan listrik (V/m)
 \mathbf{B} = induksi magnetik (Wb/m² atau Tesla)
 ε = permitivitas listrik (F/m)
 μ = permeabilitas magnetik (H/m)
 \mathbf{J} = densitas arus listrik (A/m²)
 ρ = densitas muatan (C/m³)

Selanjutnya polarisasi \mathbf{P} dan magnetisasi \mathbf{M} dari medium dielektrik diasumsikan linear terhadap kuat medan. Sehingga dapat dituliskan :

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \varepsilon \mathbf{E} \quad (2.5)$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu \mathbf{H} \quad (2.6)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (2.7)$$

dimana : $\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \chi_e)$
 $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$
 $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\sigma = \text{konduktivitas listrik (S/m)}$$

χ_m dan χ_e masing-masing adalah suseptibilitas magnetik dan dielektrik medium yang merupakan fungsi kompleks terhadap frekuensi. Oleh karena itu, ε secara umum adalah fungsi kompleks terhadap frekuensi juga. Dengan memasukkan konsep fase, komponen medan magnetik dan listrik dari \mathbf{E} dan \mathbf{H} juga menjadi bentuk kompleks. Jika tidak ada muatan yang bebas ($\sigma = 0$) dan untuk frekuensi sinyal ω , maka persamaan Maxwell dapat dituliskan :

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (2.8)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (2.9)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -i\omega\mu\mathbf{H} \quad (2.10)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = i\omega\varepsilon\mathbf{E} \quad (2.11)$$

dimana : $i = \sqrt{-1}$

$$\omega = \text{frekuensi sirkular (rad/s)}$$

Untuk menurunkan persamaan gelombangnya, diberikan *curl* pada persamaan (2.10) dan digunakan persamaan (2.8) dan (2.11) untuk memenuhi persamaan vektor Helmholtz :

$$\begin{aligned} \nabla \times \nabla \times \mathbf{E} &= \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} \\ -\nabla^2 \mathbf{E} &= -i\omega\mu \cdot \nabla \times \mathbf{H} = \omega^2 \mu \varepsilon \mathbf{E} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Untuk gelombang yang menjalar ke arah z, persamaan Helmholtz pada persamaan (2.12) dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\frac{d^2 \mathbf{E}_x}{dz^2} = -\omega^2 \mu \varepsilon \mathbf{E}_x \quad (2.13)$$

dimana indeks x menyatakan komponen x dari E dan z adalah posisi pada arah rambat gelombangnya.

Persamaan gelombang elektromagnetik dari persamaan (2.13) dapat dituliskan :

$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_0 e^{-ikz} = \mathbf{E}_0 e^{-i(\beta+i\alpha)z} \quad (2.14)$$

dimana bagian real α berasosiasi dengan faktor pelemahan dalam db/m dan bagian imajiner β berasosiasi dengan faktor fase dalam rad/m.

Pada medium yang merupakan dielektrik sempurna (tidak ada muatan bebas), solusi nilai k pada persamaan (2.14) adalah :

$$k = \pm i\omega\sqrt{\mu\epsilon} \quad (2.15)$$

atau dapat dituliskan :

$$\beta = 0 \text{ dan } \alpha = \omega\sqrt{\mu\epsilon} \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) menunjukkan bahwa pada medium yang bersifat dielektrik sempurna tidak terjadi pelemahan gelombang elektromagnetik.

Sedangkan pada medium yang konduktif, persamaan (2.11) harus dimodifikasi untuk memperhitungkan adanya efek karena konduksi dan *displacement current* pada perambatan gelombang. Sehingga dari persamaan (2.11) dapat dituliskan :

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + i\omega\epsilon)\mathbf{E} = \mathbf{J}_\sigma + \mathbf{J}_d \quad (2.17)$$

dimana \mathbf{J}_σ adalah rapat arus konduksi dan \mathbf{J}_d adalah rapat *displacement current*, keduanya dalam A/m^2 .

2.2 Prinsip Dasar GPR

Metode GPR merupakan salah satu metoda geofisika yang dapat digunakan untuk memetakan struktur dan objek yang terkubur di bawah tanah dan letaknya cukup dangkal. Prinsip dasar dari metode ini adalah menggunakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi dan kecepatan yang tinggi. Gelombang elektromagnetik yang biasanya digunakan adalah gelombang radio dengan range frekuensi antara 10 MHz - 1000 MHz. Gelombang tersebut akan dikirimkan dari permukaan oleh transmitter ke dalam tanah dan akan dipantulkan kembali oleh reflektor ke permukaan. Reflektor GPR adalah suatu *interface* yang memiliki perbedaan sifat elektromagnetik seperti konstanta dielektrik dan konduktivitas dengan lingkungan di sekitarnya. Gelombang pantul ini kemudian akan ditangkap oleh receiver yang ada di permukaan. Beberapa contoh objek yang memiliki kontras sifat elektromagnet yang cukup besar adalah *buried tanks*, *sedimentary layers*, *water table*, dan lain-lain.

Metode GPR sering juga disebut sebagai metode Georadar. Radar merupakan singkatan dari "Radio Detection and Ranging". Singkatan tersebut

menyatakan bahwa kita menggunakan gelombang radio yang dikeluarkan dari source untuk mendeteksi kedalaman dan lokasi dari objek tersebut. Untuk mendeteksi objek tersebut, maka signal radio harus melalui objek sehingga akan terjadi peristiwa *scattering* (penyebaran gelombang). Dengan mendeteksi signal yang kembali, maka dapat dideteksi lokasi dari objek tersebut.

2.3 Kecepatan, Penetrasi, dan Resolusi Gelombang Radar

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).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.18)$$

v = 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.

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

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (2.19)$$

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.

2.4 Perambatan Gelombang 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).

Konstanta dielektrik suatu material menyatakan kemampuan material tersebut untuk menyimpan muatan yang relatif sama dalam ruang hampa atau kecenderungan suatu material untuk terpolarisasi ketika medan listrik diberikan. Berikut ini merupakan nilai parameter fisis dari beberapa material yang berhubungan dengan *Ground Penetrating Radar (GPR)*.

Tabel 2.1. Nilai parameter fisis material (Fisher and Stewart, 1992)

<i>Material</i>	ϵ	$\sigma(ms/m)$	$v(m/ns)$	$\alpha(dB/m)$
Water	80	0.5	33	0.1
Dry sand	3-5	0.01	0.15	0.01-1
Wet sand	20-30	0.1-1	0.06	0.03-0.3
Clay	5-40	2-1000	0.06	1-300
Granite	6	0.01-1	0.12	0.01-1

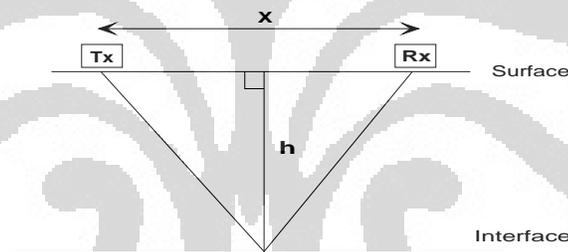
Selain konstanta dielektrik, sifat elektromagnetik lain seperti konduktivitas material juga merupakan parameter yang sangat penting dalam membahas perambatan gelombang. Konduktivitas merupakan parameter yang menyatakan kemampuan suatu material untuk meneruskan atau mengemisikan energi gelombang. Ketika 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.

Dalam penelitian ini, metode GPR yang menggunakan gelombang radar akan diaplikasikan untuk mendeteksi endapan bauksit laterit. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam endapan bauksit laterit terdapat beberapa zona yang sangat berkaitan dengan proses pembentukan endapan bauksit laterit yaitu top soil, zona nodular dan intermediate serta bedrock.

Pada zona nodular hampir semua unsur yang mudah larut hilang berubah oleh unsur-unsur yang dibawa oleh air hujan. Zona ini didominasi oleh mineral gipsit dan juga terdapat hematit. Kandungan air tanah pada zona ini sangat kecil sehingga zona ini lebih bersifat resistif. Ketika gelombang radar melalui zona ini, maka gelombang akan merambat lebih cepat dan amplitudo gelombang pada zona ini lebih besar karena pada zona ini proses absorpsi sangat kecil.

Pada zona intermediate unsur Aluminium, silika dan sedikit besi yang dapat larut oleh air hujan mengendapkan kandungan-kandungan mineral logamnya. Zona ini didominasi oleh mineral clay yang mengandung unsur silika dan aluminium yang halus, sehingga lebih konduktif dibandingkan dengan zona nodular. Ketika gelombang radar melalui lapisan ini maka gelombang akan merambat lebih lambat, amplitudo gelombang pada zona ini lebih kecil dan proses absorpsi lebih besar.

Bedrock atau batuan dasar umumnya didominasi oleh batuan yang kaya akan unsur aluminium seperti nepheline, syenit, granit, andesit, gabro, basalt, kaolinitic, shale, limestone yang masih segar belum mengalami pelapukan dan tekstur asli batuan masih tampak jelas. Zona bedrock ini merupakan zona yang sangat tebal, lebih bersifat resistif. Pada zona ini gelombang merambat lebih cepat dan amplitudo gelombang juga lebih besar dibandingkan pada zona laterit yaitu zona nodular dan intermediate.



Gambar 2.1. Perambatan gelombang EM

Traveltime gelombang radar dari *transmitter* (Tx) ke *receiver* (Rx) bisa dinyatakan dalam persamaan (2.20). (Penurunan selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 1).

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 + 4h^2} \quad (2.20)$$

Fenomena fisika yang terjadi dalam pengukuran GPR yaitu ada beda waktu antara sinyal yang dikeluarkan dengan waktu sinyal kembali ke detektor. Beda waktu yang terukur didefinisikan sebagai jarak objek dibagi dengan kecepatan dari sinyal yang kembali. Tujuan dari akuisisi data GPR ialah mengukur beda waktu tersebut. Pada dasarnya, semakin besar bedanya, berarti semakin jauh jarak objeknya atau semakin lambat cepat rambat

gelombangnya. Inti dari pengukuran GPR adalah untuk mengetahui kedalaman dan karakteristik objek di bawah permukaan yang ingin kita selidiki.

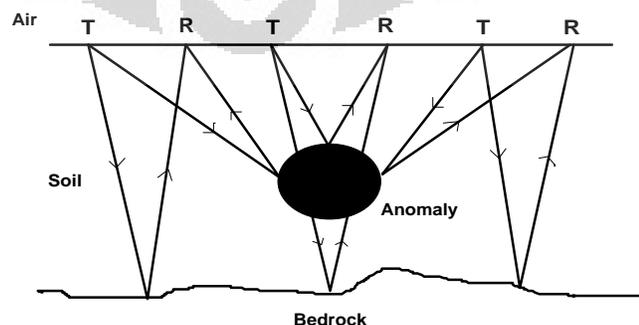
2.5 Metode pengukuran GPR

2.5.1 Fixed T/R Offset Mode Continuous

Metode ini memperbolehkan operator untuk mengumpulkan profil radar secara terus menerus/ berkesinambungan. Antena *transmitter* dan *receiver* di *set-up* dengan jarak yang tetap. Kemudian *transmitter* dan *receiver* dipindahkan secara simultan selama SIR System melakukan *scanning*. Dianjurkan antenna ditempatkan pada suatu dudukan kayu (dibuat sendiri) ketika ditarik ke tanah untuk mencegah ketidaksejajaran dan menjamin kestabilan.

2.5.2 Fixed T/R Offset Mode Static Stacking

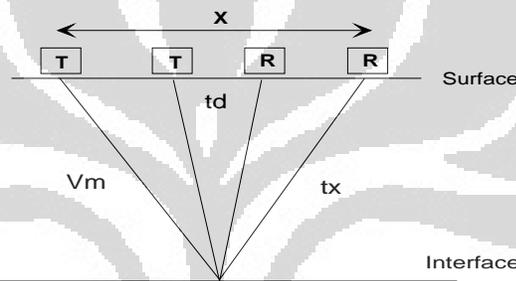
Ketika kondisi daerah tidak memungkinkan untuk penggunaan metode *Fixed T/R Offset Mode Continuous* dengan menggunakan konfigurasi frekuensi yang lebih rendah, atau diinginkan perbandingan sinyal dan *noise* yang lebih baik, maka digunakan *Fixed T/R Offset Mode Static Stacking*. Pada metode ini pengaturan antenna sama seperti metode *Fixed T/R Offset Mode Continuous*, tetapi data yang direkam adalah data per-titik (*point collection*). Antena ditempatkan di titik survey pada grid yang telah ditetapkan. Apabila hasil *scan* di suatu titik sudah terekam maka pengukuran di titik tersebut dapat berhenti setelah mencapai rasio sinyal-noise yang optimal dan diperoleh data dengan kualitas yang baik. Kemudian antenna dipindahkan ke titik survey berikutnya, dan seterusnya. Pengumpulan hasil data ini dilakukan sampai mendapatkan kumpulan titik yang cukup untuk membuat profil area tersebut.



Gambar 2.2. Konfigurasi fixed T/R offset (Annan, 2001)

2.5.3 Common Mid-Point Mode Static Stacking

Metode CMP (atau CDP) digunakan untuk pengukuran kecepatan (dan juga kedalaman). *Transmitter* dan *receiver* dipindahkan secara terpisah dari titik tengah dipermukaan dengan interval yang tetap dan proses scan radar akan terkumpul seperti yang dibutuhkan pada setiap titik maka refleksi awal yang bersih dapat terlihat. Waktu tempuh gelombang radar dari *transmitter* ke *receiver* yang disebut dengan *Two Way Traveltime* (TWT) dapat diukur dan kecepatan perambatan gelombang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21). (Penurunan selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 2).



Gambar 2.3. Konfigurasi Common Mid-Point (CMP)

$$V_m = \frac{x}{\sqrt{t_x^2 - t_d^2}} \quad (2.21)$$

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

2.6 Geologi Regional dan Geomorfologi Daerah Penelitian

Daerah eksplorasi secara regional didominasi oleh batuan beku berupa granit dan diorit kuarsa, selain itu juga terdapat gabro. Terobosan diorit kuarsa dan granit mendominasi daerah penelitian dengan komposisi feldspar biotit dan piroksen, yang mana berpotensi baik untuk endapan bauksit laterit. Batuan termuda terdiri dari endapan alluvial yang menempati lembah-lembah antar bukit,

dataran rendah dan rawa-rawa yang terdiri dari lempung dan pasir yang mengandung gambut.

Dari penampang stratigrafi regional daerah penelitian diketahui urutan batuan dari yang paling tua sampai yang paling muda adalah :

➤ **Batuan Malihan Pinoh (PMp)**

Batuan Malihan Pinoh berumur Paleozoik sampai Mesozoik, terdiri dari sekis-kuarsa-muscovit, filit, batu sabak, batu tanduk, beberapa tufa malih dan sedimen malih. Setempat mengandung andalusit, kordierit dan biotit, silimanit (jarang) dan garnet.

➤ **Batuan terobosan berumur Kapur Awal – Kapur Akhir**

Terdiri dari :

- a. Tonalit Sepauk (kls), terdiri dari batuan tonalit, granodiorit, granit dan diorite kuarsa. Ditemukan juga Tonalit Sepauk yang berfoliasi.
- b. Granit Laur (kll), terdiri dari batuan monzogranit, sienogranit dan granodiorit.
- c. Gabro Biwa (kub), terdiri dari gabro olivin, norit olivin dan norit augit.

➤ **Formasi Tebidah (tot)**

Diendapkan tidak selaras di atas Formasi Malihan Pinoh, terdiri dari perselingan batu lumpur, batu lanau, mengandung lapisan tipis batubara.

➤ **Endapan Quarter (Qa)**

Yaitu berupa alluvium pantai, danau, rawa dan undak, terdiri dari batu pasir, konglomerat, kerikil terkonsolidasi dan lain-lain.

Sebagian besar daerah penelitian berupa dataran dan perbukitan bergelombang dengan stadia dewasa-tua. Dalam tahap stadia erosi, sangat sulit menemukan indikasi struktur sekunder akibat tektonik. Dari indikasi pemboran geologi teknik tahun 1996-1997 pada kedalaman maksimal 40 m ditemukan batuan beku diorit segar, sangat kompak dan tidak ditemukan indikasi struktur geologi oleh aktivitas tektonik.

Morfologi daerah penelitian dibedakan atas 3 kelompok, yaitu dataran, perbukitan bergelombang dan perbukitan terjal. Daerah dataran dengan ketinggian

50 – 60 m di atas permukaan laut, menempati daerah sekitar aliran sungai, rawa – rawa dan lembah antar bukit dengan kemiringan < 15 derajat. Perbukitan bergelombang memiliki ketinggian antara 60 – 140 m di atas permukaan laut. Kelompok ini merupakan bagian terbesar daerah penyelidikan yang merupakan tempat konsentrasi endapan bauksit. Kemiringan lereng berkisar antara 15 – 40 derajat dengan puncak – puncak tertinggi antara lain gunung Teberangkis (140 m), gunung Mangkub (105 m) dan lain-lain. Perbukitan terjal memiliki ketinggian > 140 m dengan lereng > 40 derajat dengan puncak tertinggi gunung Keramas (480 m) dan gunung Kedikit (429 m).

2.7 Geologi Bauksit Laterit

2.7.1 Genesa Bauksit Laterit

Laterit adalah zona endapan yang terbentuk sebagai hasil dari pelapukan (Eggleton, 2001). Bauksit terbentuk dari batuan yang mengandung unsur Al. Batuan tersebut antara lain nepheline, syenit, granit, andesit, dolerite, gabro, basalt, hornfels, schist, slate, kaolinitic, shale, limestone dan phonolite, dengan kandungan feldspar tinggi. Apabila batuan-batuan tersebut mengalami pelapukan, mineral yang mudah larut akan terlarutkan, seperti mineral–mineral alkali dan alkali tanah, sedangkan mineral–mineral yang tahan akan pelapukan akan terakumulasikan.

Di daerah tropis, pada kondisi tertentu batuan yang terbentuk dari mineral silikat seperti lempung akan terpecah-pecah, kemudian silikanya terpisahkan sedangkan oksida alumunium dan oksida besi terkonsentrasi sebagai residu. Proses ini berlangsung terus dalam waktu yang cukup dan produk pelapukan terhindar dari erosi, akan menghasilkan endapan lateritik.

Kandungan alumunium yang tinggi di batuan asal bukan merupakan syarat utama dalam pembentukan bauksit, tetapi yang lebih penting adalah intensitas dan lamanya proses laterisasi.

Kondisi-kondisi utama yang memungkinkan terjadinya endapan bauksit secara optimum adalah :

1. Adanya batuan yang mudah larut dan menghasilkan batuan sisa yang kaya alumunium.

2. Adanya vegetasi dan bakteri yang mempercepat proses pelapukan.
3. Porositas batuan yang tinggi, sehingga sirkulasi air berjalan dengan mudah.
4. Adanya pergantian musim (cuaca) hujan dan kemarau (kering).
5. Adanya bahan yang tepat untuk pelarutan.
6. Relief (bentuk permukaan) yang relatif rata, yang mana memungkinkan terjadinya pergerakan air dengan tingkat erosi minimum.
7. Waktu yang cukup untuk terjadinya proses pelapukan.

2.7.2 Penampang Laterit

Secara umum penampang endapan bauksit laterit dari bawah ke atas secara berturut-turut adalah sebagai berikut :

- **Batuan Dasar (Bedrock)**
Batuan dasar umumnya didominasi oleh batuan yang mengandung aluminium seperti nepheline, syenit, granit, andesit, dolerite, gabro, basalt, hornfels, schist, slate, kaolinitic, shale, limestone dan phonolite yang masih segar dan belum mengalami pelapukan serta tekstur asli batuan masih terlihat dengan jelas.
- **Zona Pelindian (Intermediate horizon)**
Horizon ini merupakan zona transisi dari bedrock ke zona nodular di atasnya. Pada zona ini akan terjadi perubahan geokimia unsur dimana kadar SiO_2 akan naik, dan kandungan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 akan turun. Mineral yang terdapat di zona ini adalah clay (lempung) yang mengandung unsur silika, sedikit aluminium dan besi dengan bentuk butiran halus.
- **Zona Nodular**
Pada zona nodular hampir semua unsur yang mudah larut hilang terlindi. Kadar Al_2O_3 dan Fe_2O_3 akan naik, sedangkan kadar SiO_2 akan turun. Zona ini didominasi oleh mineral gipsit disamping juga terdapat hematit. Zona nodular merupakan zona endapan bauksit laterit.
- **Zona Tanah Penutup**
Pada zona ini umumnya didominasi oleh humus yang bersifat gembur.

2.7.3 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Laterisasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam pembentukan endapan bauksit laterit adalah sebagai berikut :

- Batuan Asal

Batuan asal dalam pembentukan endapan bauksit laterit adalah batuan sedimen kaolinit serta batuan granit dan basalt. Batuan ini memiliki elemen Al paling banyak dibandingkan dengan batuan lainnya, kadar Fe rendah dan banyak atau sedikit mengandung kuarsa (SiO_2) bebas atau tidak mengandung kuarsa sama sekali, mineral-mineralnya mudah lapuk (tidak stabil), dan komponen-komponennya mudah larut yang memungkinkan terbentuknya endapan bauksit.

- Iklim

Adanya pergantian musim hujan dan musim kemarau dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses akumulasi dan pemisahan unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan timbul rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia terutama dekomposisi batuan.

- Reagen-Reagen kimia dan vegetasi

Yang dimaksud dengan reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. CO_2 yang terlarut bersama dengan air memegang peranan penting dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus dapat menyebabkan dekomposisi batuan dan merubah PH larutan. Asam-asam humus ini erat hubungannya dengan vegetasi, dimana vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti akar-akar pepohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, humus akan lebih tebal. Vegetasi dan bakteri akan mempercepat proses pelapukan. Selain itu vegetasi dapat menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

- Struktur Geologi

Struktur menyebabkan deformasi pada batuan yang paling dominan dalam pembentukan endapan bauksit adalah struktur rekahan dibandingkan

dengan struktur patahan. Batuan aluminosilikat memiliki permeabilitas dan porositas yang kecil sehingga penetrasi air menjadi sulit. Akan tetapi dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan air masuk dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

- Topografi

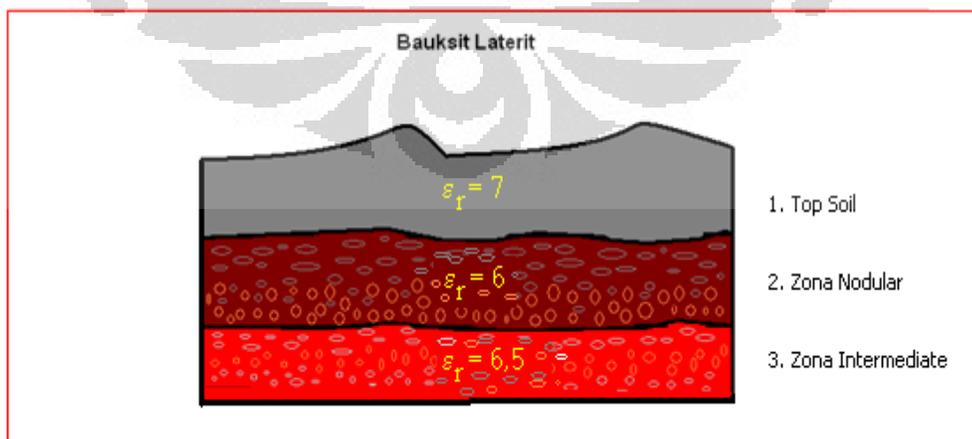
Keadaan topografi setempat sangat mempengaruhi sirkulasi air dan reagen-reagen lain. Untuk daerah landai air akan bergerak perlahan-lahan sehingga mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi yang lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan biasanya terdapat pada daerah landai sampai kemiringan sedang, yang mana memungkinkan terjadinya pergerakan air dengan tingkat erosi minimum. Hal ini menggambarkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam jumlah air yang meluncur lebih banyak dari pada air yang meresap, ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

- Waktu

Waktu yang cukup lama akan menghasilkan pelapukan yang intensif karena akumulasi unsur bauksit cukup tinggi.

Semua faktor yang telah disebutkan diatas sangat berpengaruh dalam pembentukan endapan bauksit laterit.

Adapun model geofisika zona endapan bauksit laterit yang didasarkan pada parameter konstanta dielektrik batuanannya adalah sebagai berikut :

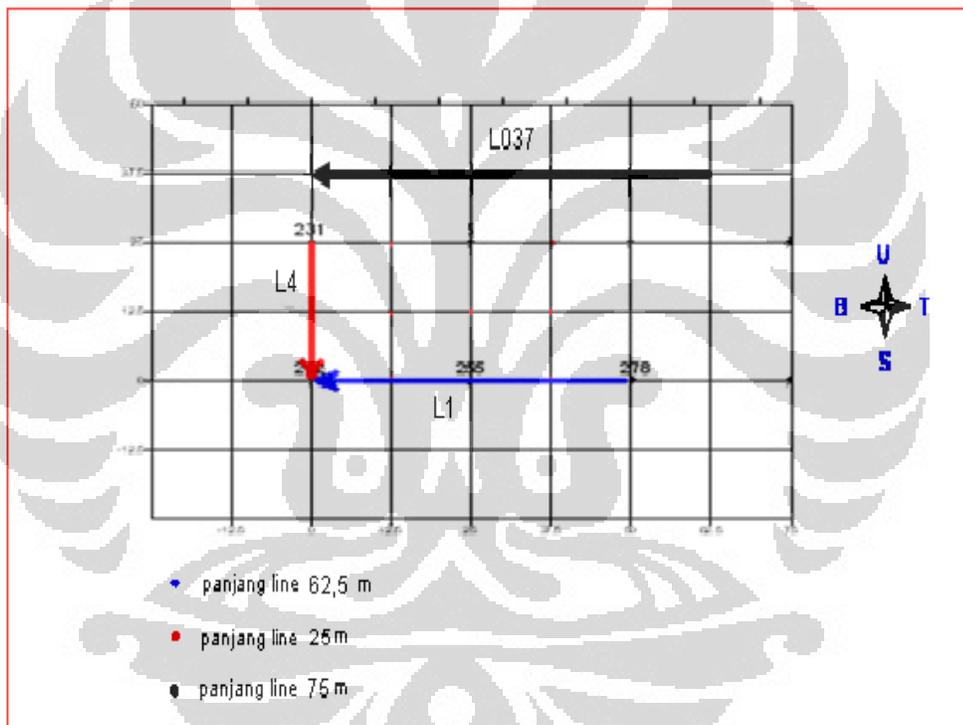


Gambar 2.4. Model Geofisika Endapan Bauksit Laterit

BAB III DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Data Lapangan

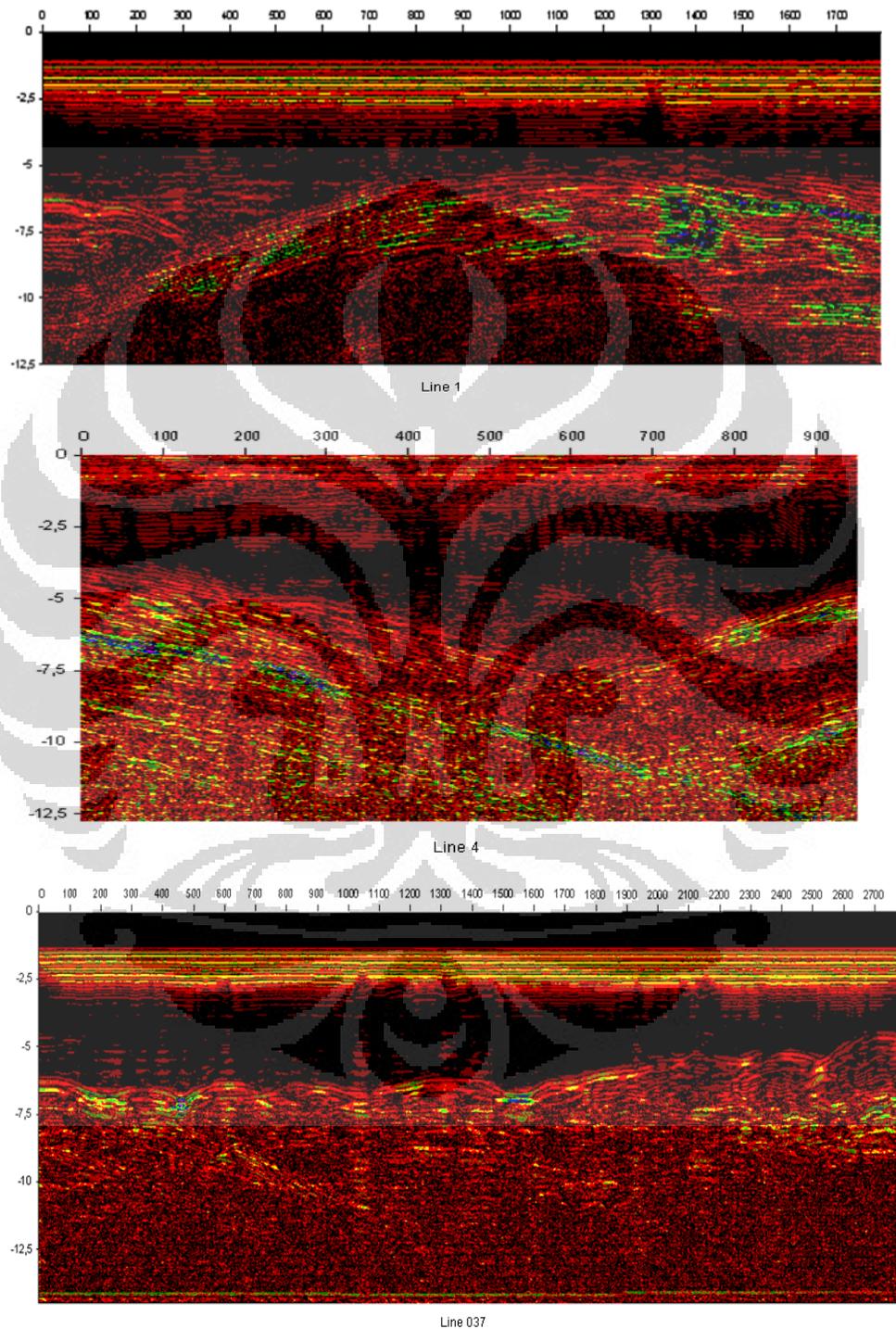
Dalam penulisan skripsi ini penulis menggunakan data GPR dari PT. Antam Tbk Unit Geomin yang merupakan hasil pengukuran di daerah "X". Data terdiri dari 3 lintasan dengan panjang lintasan dan arah lintasan yang berbeda-beda. *Line* – 1 berarah Timur – Barat, *Line* – 4 berarah Utara – Selatan, dan *Line* – 037 berarah Timur – Barat. Berikut adalah peta lintasan pengukuran.



Gambar 3.1. Peta lintasan pengukuran

Pada proses akuisisi data, metode pengukuran yang digunakan adalah metode *Fixed T/R Offset Mode Continuous*. Metode ini adalah metode pengumpulan profil radar secara terus menerus/ berkesinambungan. Dimana antenna *transmitter* dan *receiver* di *set-up* dengan jarak yang tetap. Kemudian *transmitter* dan *receiver* dipindahkan secara simultan selama SIR System melakukan *scanning* sepanjang lintasan pengukuran yang telah ditentukan.

Berikut merupakan data lapangan yang digunakan yang merupakan data hasil *scanning* di lapangan.



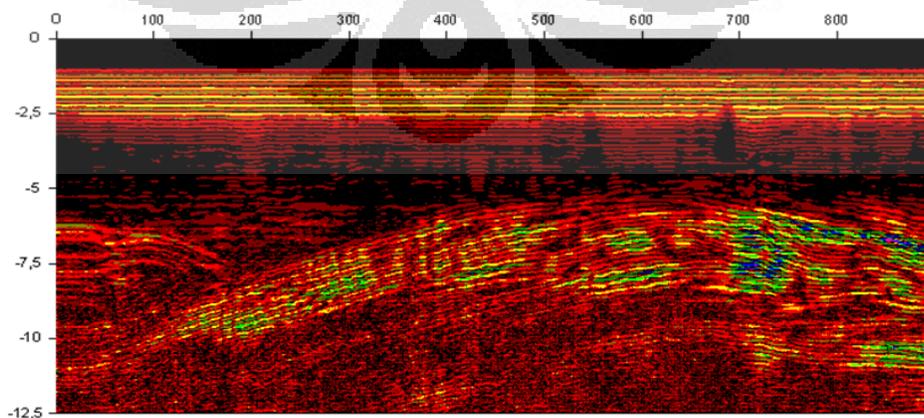
Gambar 3.2. Data lapangan

3.2 Pengolahan Data

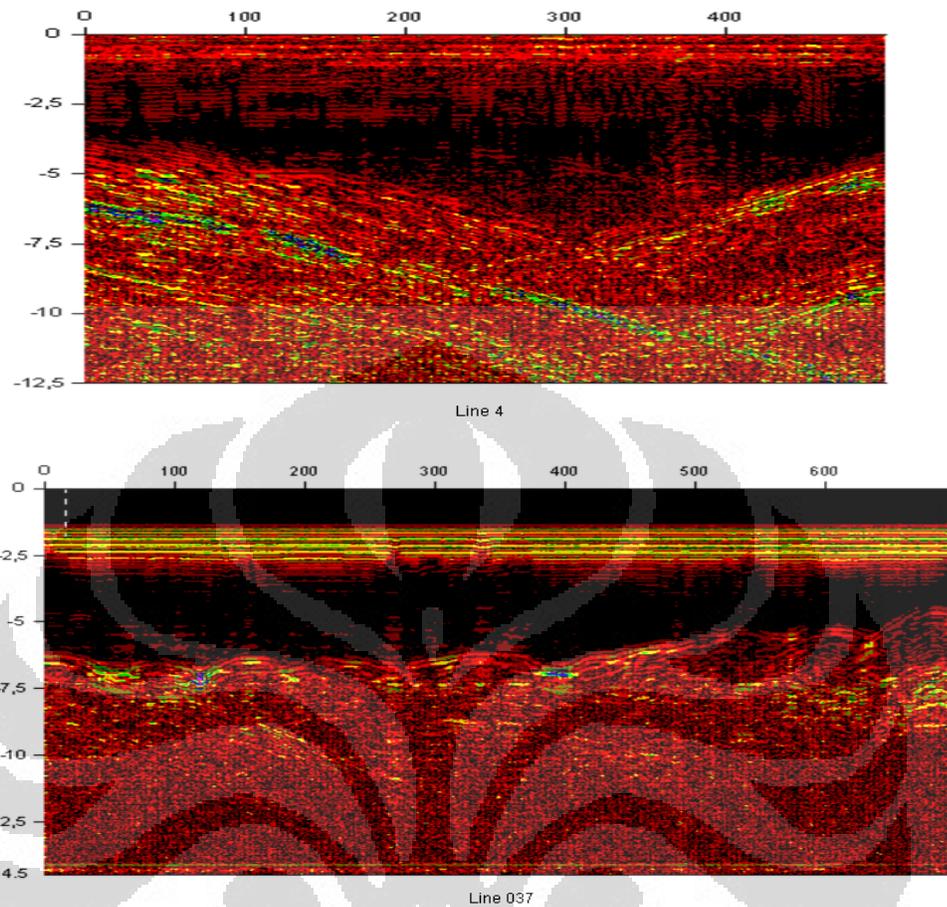
3.2.1 Horizontal Scaling

Horizontal scaling adalah suatu proses pengaturan skala horizontal. Proses ini merupakan tahapan yang pertama sekali dilakukan dalam pemrosesan data GPR dengan menggunakan *software* radan. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk mengatur skala horizontal untuk menampilkan bentuk hiperbola sebagai respon dari objek yang ada di bawah permukaan. Ada dua proses dalam *horizontal scaling* yaitu *skipping* dan *stacking*. *Skipping* adalah proses peniadaan suatu sinyal refleksi. Proses ini dilakukan untuk membuang sinyal refleksi yang berulang pada satu titik tertentu. *Stacking* adalah proses penggabungan beberapa sinyal refleksi. Setelah dilakukan *skipping*, selanjutnya adalah *menstacking* data untuk menampilkan skala horizontal dan bentuk hiperbola yang baik.

Dalam tahapan proses ini data *diskipping* 1 kali dan *distacking* sebanyak 2 kali untuk mendapatkan skala horizontal yang baik. Alasan pemilihan parameter ini adalah dengan melihat hasil menggunakan proses yang lain. Dalam pemrosesan data ini telah dilakukan proses *skipping* 2 kali dan *stacking* 1 kali dimana hasilnya tidak menunjukkan adanya perbedaan yang jelas dengan data sebelum dilakukan proses tersebut. Apabila dalam data tidak ada sinyal refleksi yang berulang pada satu titik tertentu, maka setelah dilakukan proses *skipping* dan *stacking* tidak akan terdapat perbedaan yang jelas dengan data sebelum dilakukan proses tersebut. Berikut merupakan data lapangan dan data hasil proses *horizontal scaling*.



Line 1



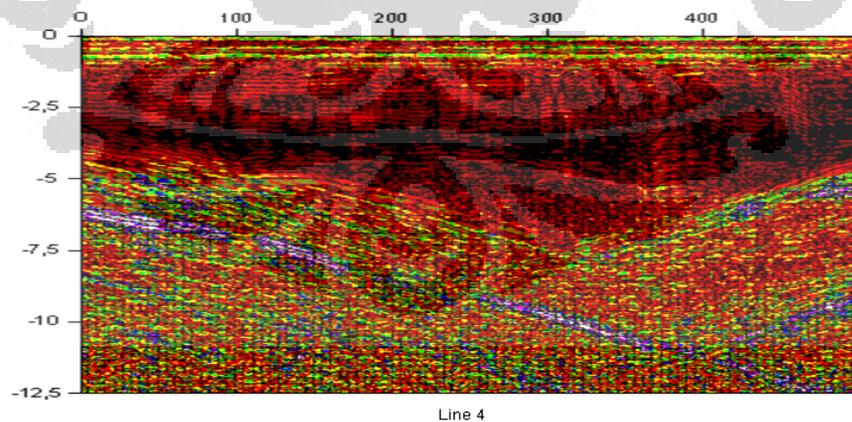
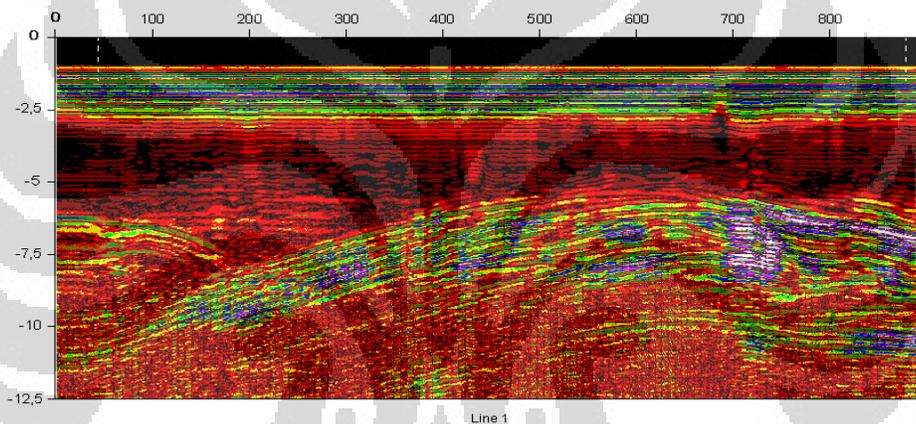
Gambar 3.3. Data hasil proses *horizontal scaling*

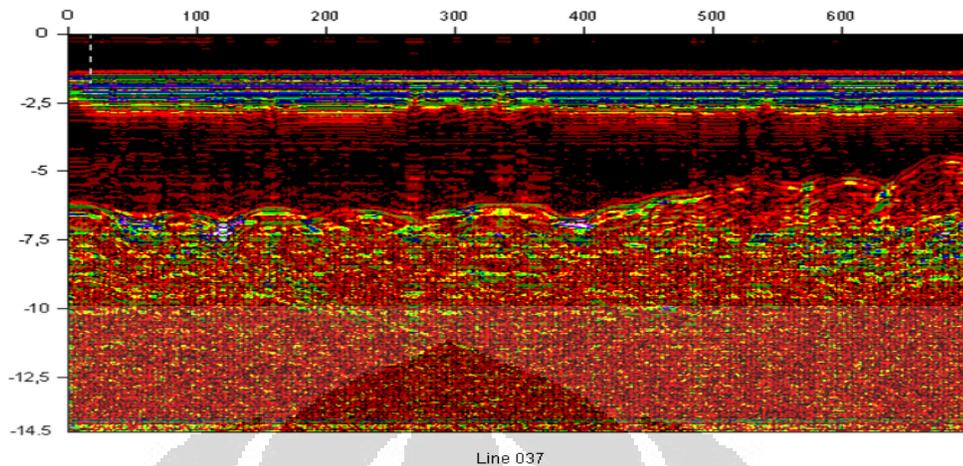
3.2.2 Penguatan Amplitudo

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 2, 3 dan 4 kali. Hasil penguatan sebanyak 2 kali menunjukkan adanya perbedaan

semua *line* dengan data sebelum dilakukan penguatan. Setelah dilakukan penguatan, pada *line* – 1 terlihat batas antar lapisan semakin jelas, pada *line* – 4 dan *line* – 037 terlihat sinyal yang lemah yaitu pada zona yang konduktif semakin jelas. Sedangkan hasil penguatan sebanyak 3 dan 4 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 termasuk pada zona yang konduktif menjadi sangat kuat sehingga tidak dapat dibedakan per lapisannya. Dengan melihat hasil dari masing – masing penguatan ini, maka penguatan yang dipilih adalah sebanyak 2 kali dengan hasil seperti di bawah ini.



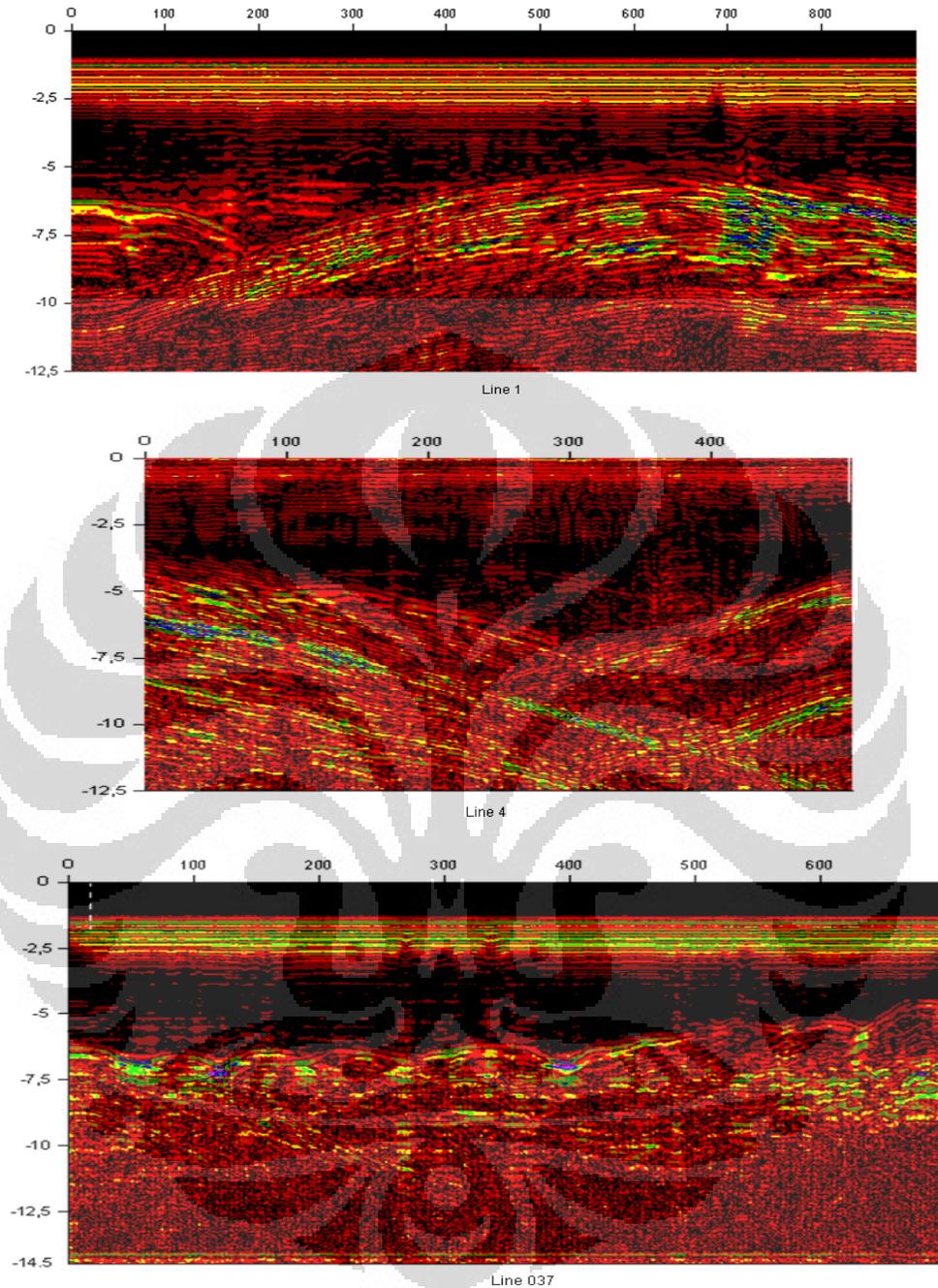


Gambar 3.4. Data hasil proses penguatan amplitudo

3.2.3 Filtering Data

Filtering data adalah suatu proses pemisahan antara sinyal dengan *noise* yang berbeda frekuensinya. Pada proses ini data difilter dengan menggunakan filter *Finite Impulse Response (FIR)*. 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 seperti gelombang langsung. *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 telah dilakukan ketiga filter tersebut. Mekanisme penggunaannya adalah pertama menggunakan *low pass filter* sebesar 80 MHz, gelombang dengan frekuensi sebesar 80 MHz keatas terlihat berkurang. Sinyal ini penetrasinya dangkal dan diantaranya berasosiasi dengan gelombang langsung. Kemudian digunakan *high pass filter* sebesar 80 MHz. Sinyal dengan frekuensi 80 MHz kebawah yang penetrasinya lebih dalam menjadi hilang. Sehingga tidak dapat dilihat zona – zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit. Sedangkan dengan menggunakan *band pass filter* dengan frekuensi 50 - 80 MHz terlihat bahwa sinyal dengan penetrasi sedang menjadi hilang. Dengan melihat hasil dari filter ini, maka filter yang dipilih adalah *low pass filter* yaitu untuk menghilangkan sinyal dengan penetrasi dangkal seperti gelombang langsung dengan hasil seperti di bawah ini.



Gambar 3.5. Data hasil proses filtering data

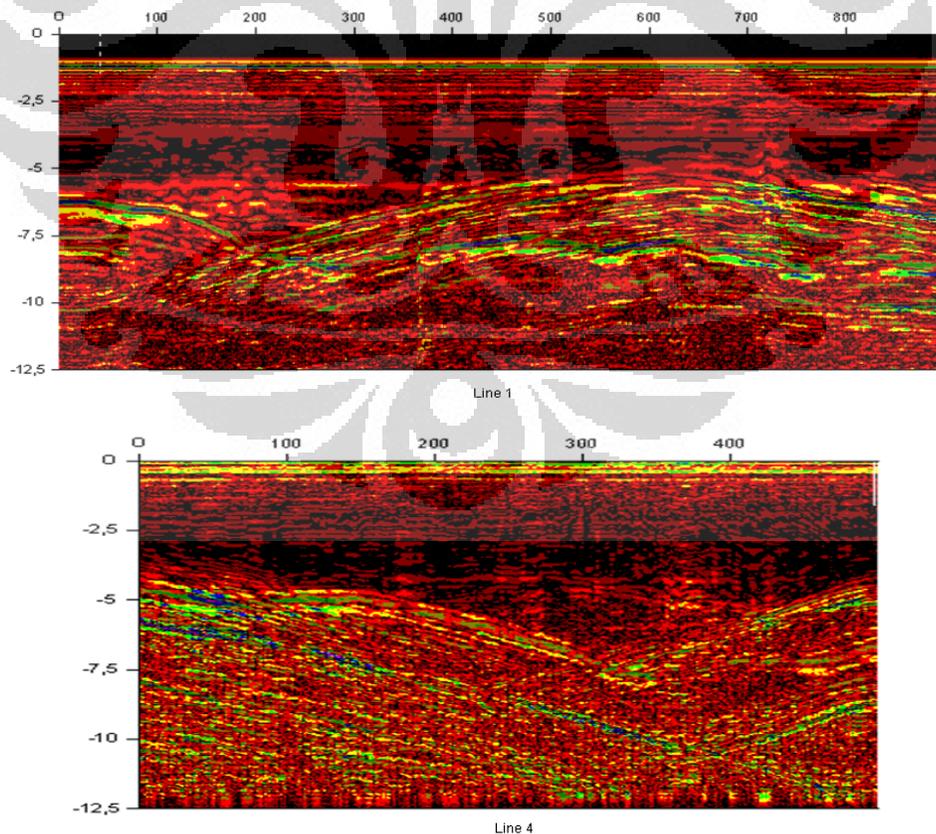
3.2.4 Deconvolution

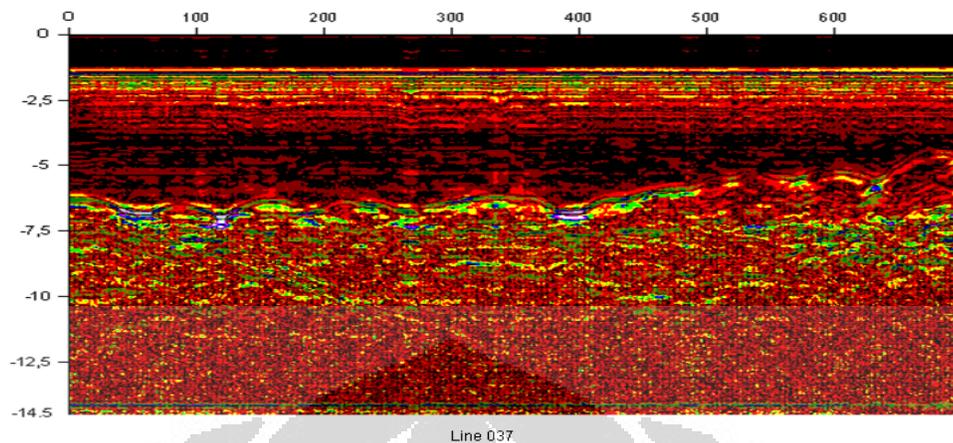
Deconvolution adalah proses peniadaan noise yang koheren. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan sinyal yang tidak kita inginkan seperti *multiple – multiple* yaitu sinyal refleksi dari lapisan tipis dan sinyal yang merupakan

gelombang langsung yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya pada proses sebelumnya. Pada tahapan *deconvolution* parameter yang digunakan adalah *prediction lag* (jarak noise) dan *additional gain* (penguatan sinyal setelah proses *deconvolution*).

Pada *prediction lag* digunakan 5 m yang merupakan kedalaman sinyal gelombang langsung dan pada *additional gain* dilakukan penguatan sinyal 2 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 masing – masing *line* terlihat bahwa sinyal yang merupakan gelombang langsung menjadi hilang. Pada masing – masing *line* juga terlihat bahwa sinyal yang diinginkan semakin jelas sehingga bidang batas antar lapisan juga semakin jelas. Berikut merupakan data hasil proses *deconvolution*.



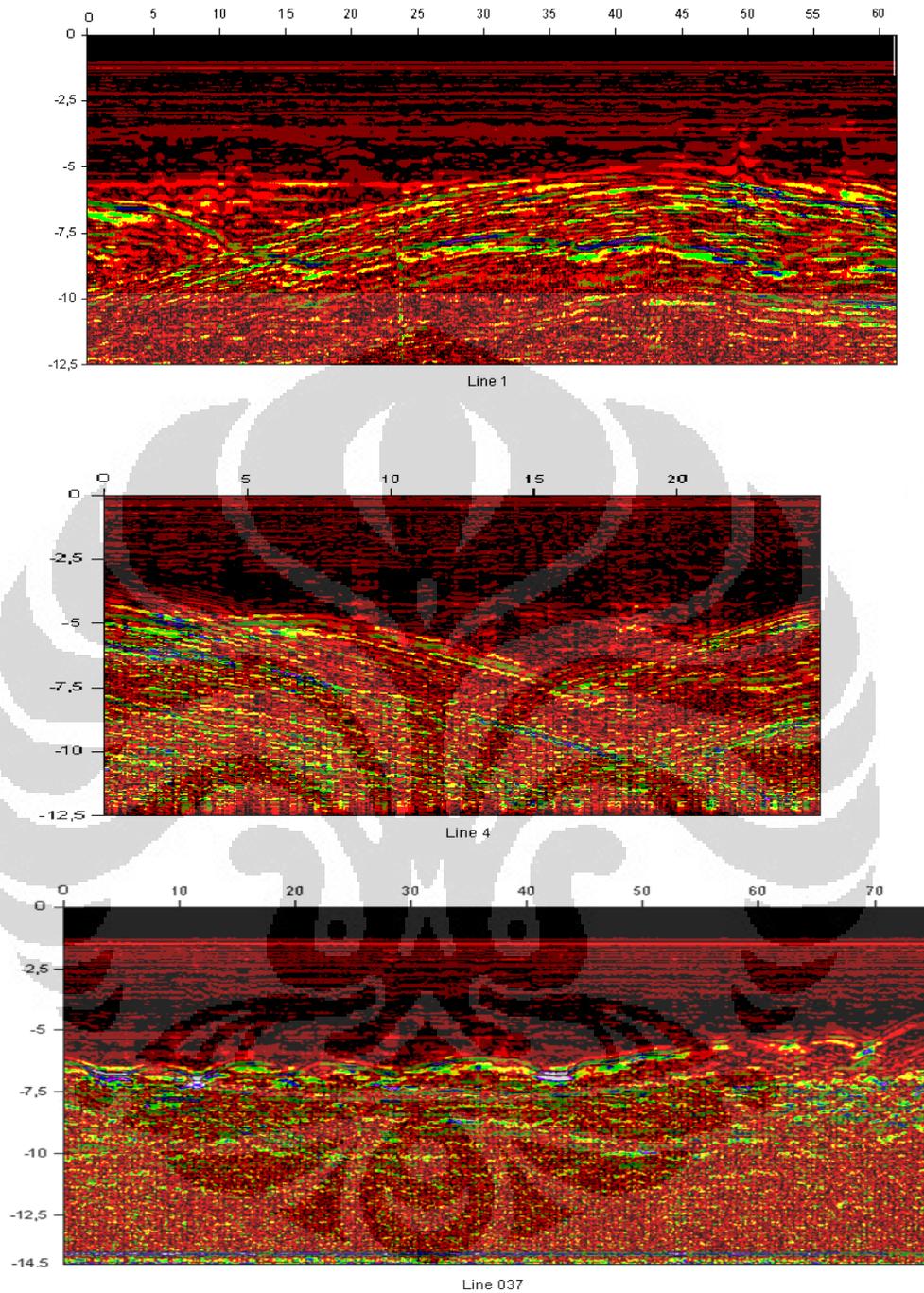


Gambar 3.6. Data hasil proses *deconvolution*

3.2.5 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. Pada proses ini juga dilakukan variasi konstanta dielektrik untuk mengetahui bidang batas antar lapisan yaitu reflektor sebagai pemantul sinyal dari transmitter. Dengan mengetahui reflektor ini akan menjadi patokan untuk menentukan lapisan – lapisan yang ada.

Setelah dilakukan proses ini bidang batas per lapisan tampak semakin jelas. Sumbu horizontal berubah menjadi jarak yang sesuai dengan panjang lintasan pengukuran. Pada masing – masing *line* juga terlihat bahwa bidang batas antar lapisan semakin jelas sehingga lebih mudah untuk mengetahui lapisan yang ada. Berikut merupakan data hasil proses *distance normalization*.



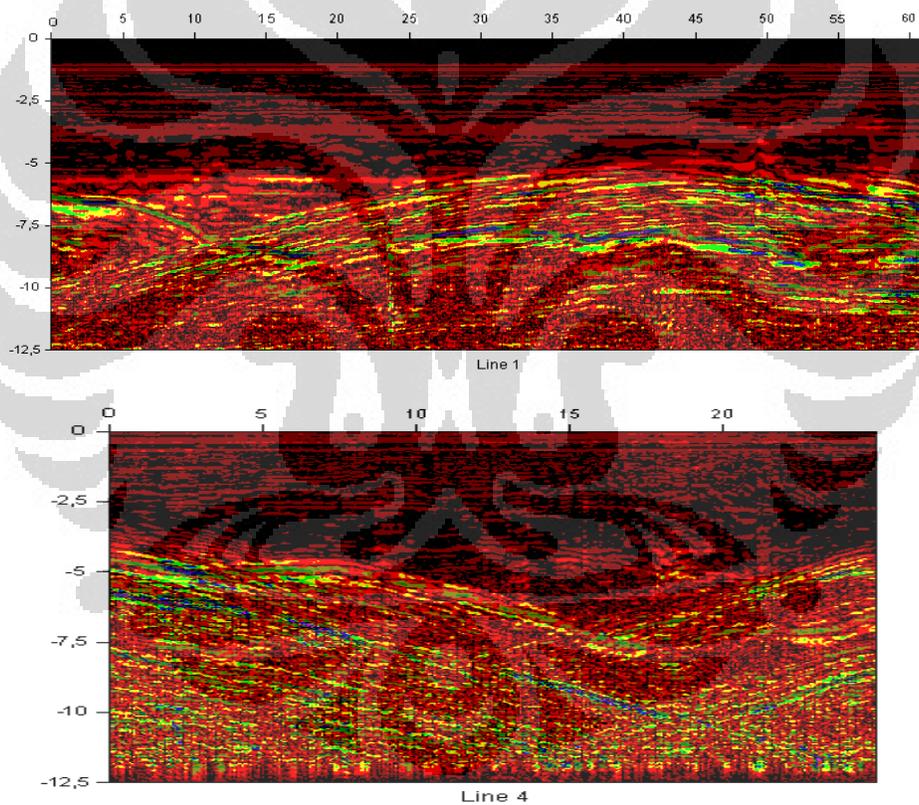
Gambar 3.7. Data hasil proses *distance normalization*

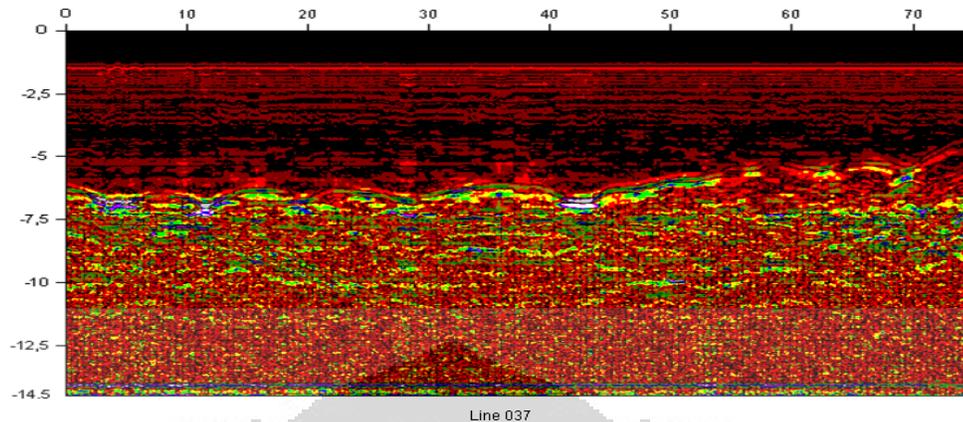
3.2.6 Koreksi Statik

Koreksi statik adalah proses pengkoreksian posisi antenna *transmitter* dan *receiver*. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan efek dari perubahan elevasi

dan posisi antena. Topografi permukaan tanah yang tidak rata akan mengakibatkan bergesernya waktu datang sinyal refleksi dari waktu yang diharapkan. Topografi permukaan tanah ini mempengaruhi ketinggian titik tembak (*transmitter*) dan titik tangkap (*receiver*) bila dihitung terhadap bidang referensi atau datum yang datar.

Dalam proses ini dilakukan dengan koreksi statik otomatis yaitu koreksi posisi antara transmitter dan receiver. Setelah dilakukan proses ini terlihat tidak ada perbedaan dengan data sebelum dilakukan koreksi statik. Hal ini berarti bahwa tidak ada perbedaan ketinggian antara *transmitter* dengan *receiver*. Berikut merupakan data hasil proses koreksi statik.



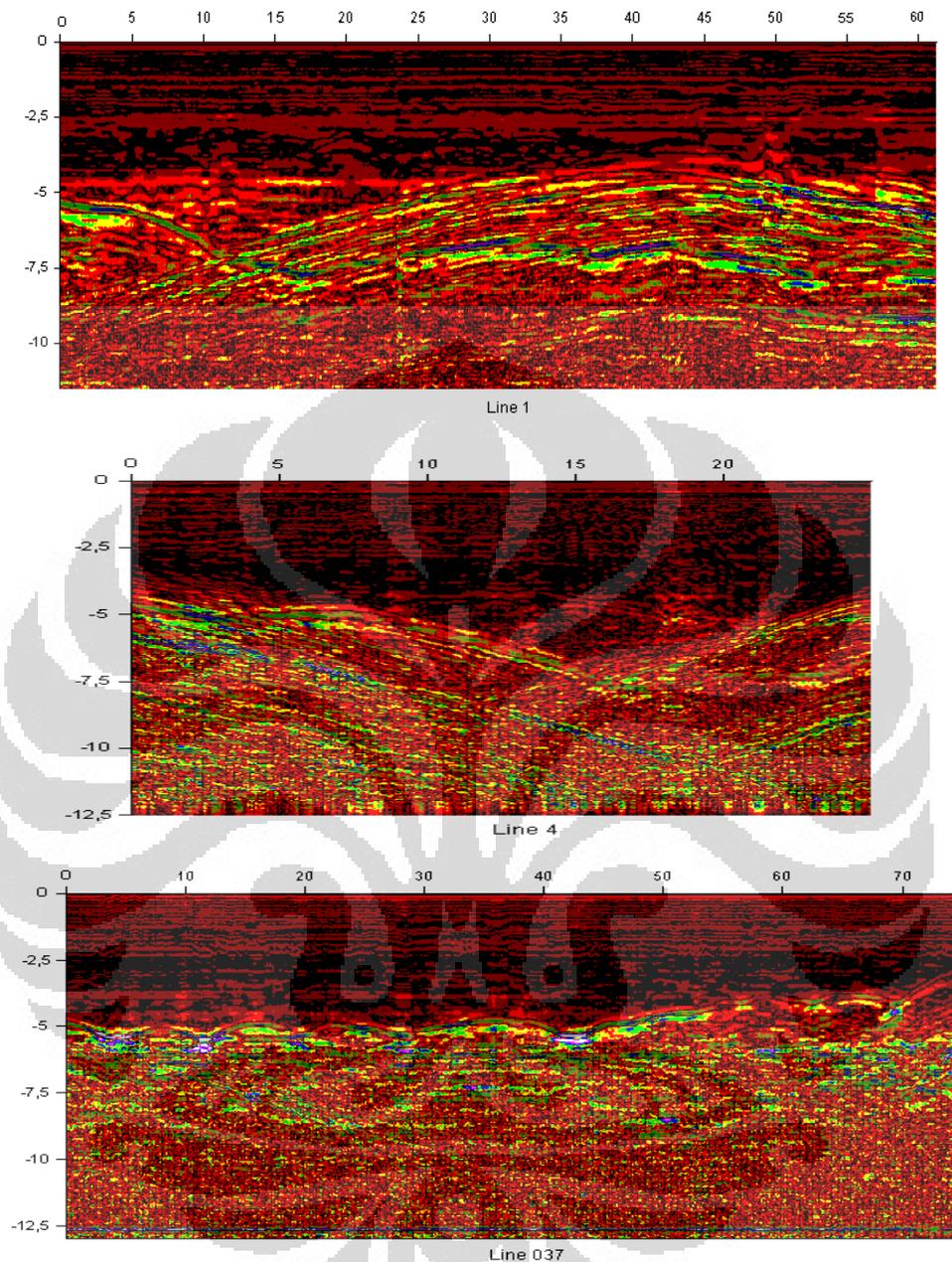


Gambar 3.8. Data hasil proses koreksi statik

3.2.7 Koreksi Posisi

Koreksi posisi adalah proses pengkoreksian posisi arah vertikal. Koreksi posisi bertujuan untuk menghilangkan sinyal gelombang yang langsung dari udara yaitu *air wave*. Koreksi ini dilakukan agar skala awal pada parameter vertikal dimulai dari permukaan pencitraan (permukaan awal penjalaran gelombang pada media). Titik awal perambatan sinyal tidak berada pada skala awal yaitu titik 0.0. hal ini diatasi dengan langkah koreksi posisi sehingga titik awal perambatan sinyal berada pada skala awal pengukuran.

Dalam proses ini dilakukan dengan koreksi posisi yang mana posisinya telah digeser sehingga titik awal perambatan sinyal berada pada skala awal penjalaran gelombang pada media. Setelah dilakukan proses ini terlihat adanya perbedaan dengan data sebelum dilakukan koreksi posisi. Koreksi posisi dilakukan pada *line* – 1 dan *line* – 037, karena titik awal perambatan sinyal pada *line* ini tidak berada pada skala awal. Pada *line* – 4 tidak dilakukan koreksi posisi karena titik awal perambatan sinyal sudah berada pada skala awal. Berikut merupakan data hasil proses koreksi posisi.



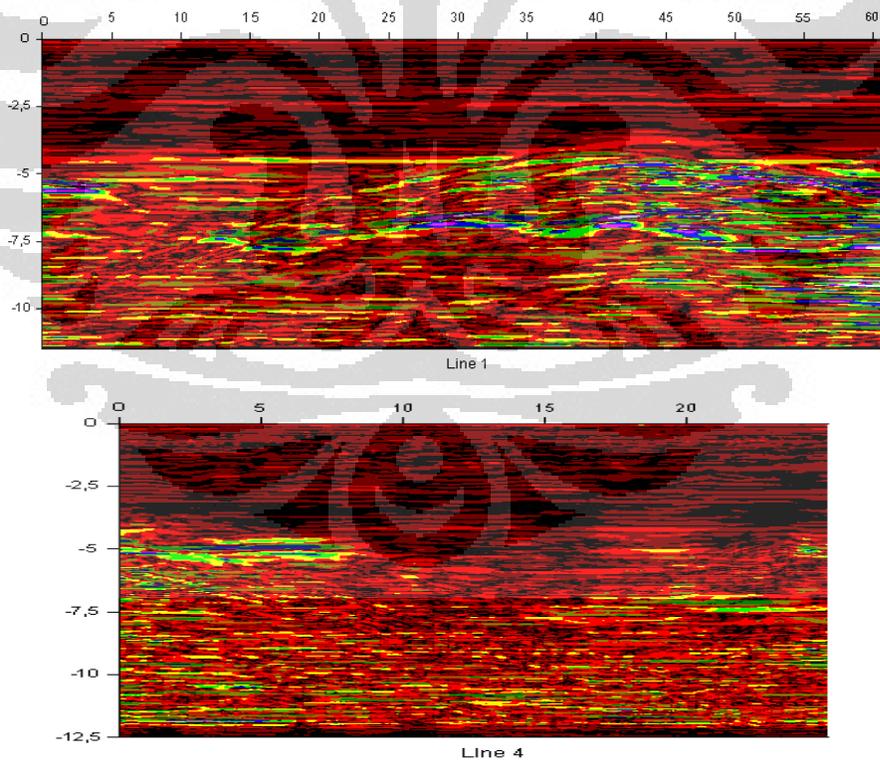
Gambar 3.9. Data hasil proses koreksi posisi

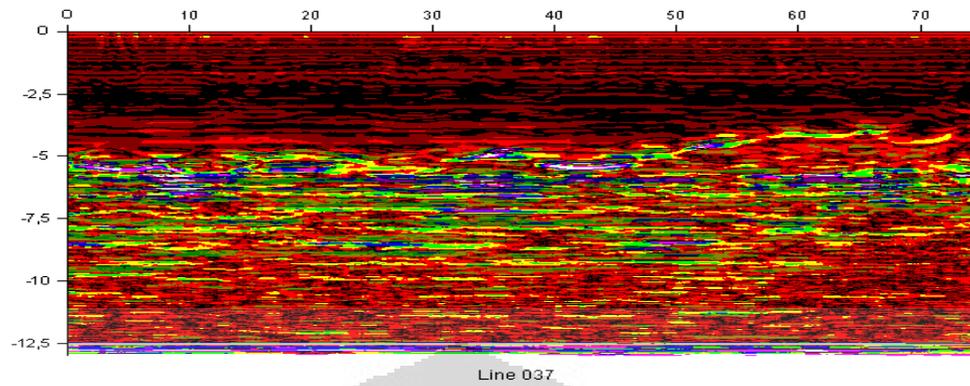
3.2.8 Migrasi

Migrasi adalah proses ekstrapolasi medan gelombang baik dalam ruang maupun dalam waktu. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan efek difraksi dan koreksi adanya lapisan-lapisan miring. Proses migrasi pada pengolahan data ini dilakukan dengan migrasi Kirchhoff. Migrasi Kirchhoff menyatakan penjalaran

gelombang dalam ruang dan waktu. Dalam teori migrasi Kirchhoff bidang pemantul adalah jumlah dari muka difraksi. Titik- titik reflektor dianggap sebagai titik difraktor. Garis singgung pada muka difraksi inilah yang membentuk bidang pemantul. Hal ini dilakukan dengan menjumlahkan amplitudo gelombang mengikuti suatu bentuk hiperbola. Akibat dari penjumlahan ini, maka sinyal yang terdifraksi difokuskan kembali ke bentuk hiperbolanya.

Metode migrasi Kirchhoff ini mempunyai kelebihan yaitu mampu menangani kemiringan yang sangat curam, tetapi ada juga kelemahannya yaitu keterbatasan terjadi sewaktu kecepatan berubah secara lateral. Setelah dilakukan proses ini terlihat bahwa data yang dihasilkan memiliki kualitas yang kurang baik. Hal ini disebabkan tidak terdapatnya sinyal yang mengalami difraksi dan lapisan miring. Dari ini dapat disimpulkan bahwa proses migrasi perlu dilakukan hanya untuk data yang terdapat sinyal difraksi dan adanya lapisan miring. Berikut merupakan data hasil proses migrasi.





Gambar 3.10. Data hasil proses migrasi



BAB IV

INTERPRETASI DAN ANALISIS DATA

4.1 Interpretasi Data

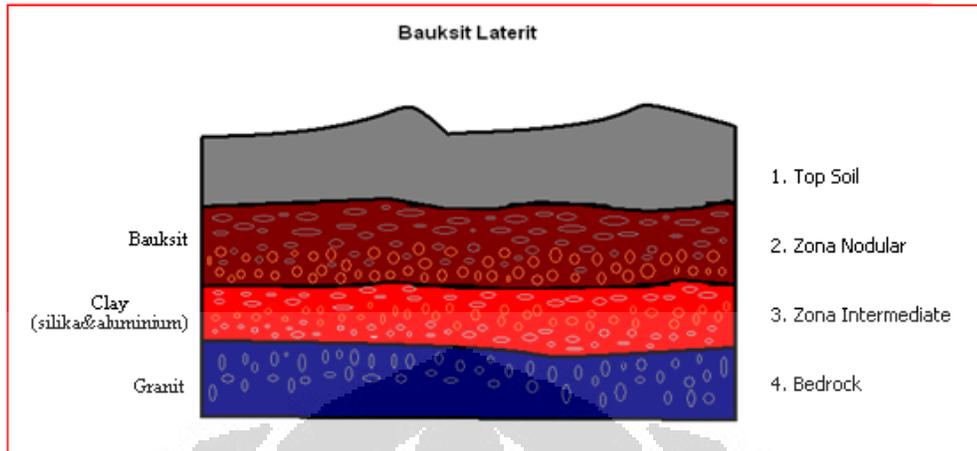
Dalam menginterpretasi data geofisika diperlukan berbagai macam data pendukung seperti data geofisika lainnya terutama data geologi daerah penelitian. Jika tidak ada data pendukung, maka data geofisika hanya mampu memberikan informasi berdasarkan parameter yang digunakan tanpa disertai penjelasan apa yang menyebabkan hal tersebut dapat terjadi, sehingga kemungkinan ambiguitas hasil interpretasi data bisa terjadi. Dengan adanya data pendukung ini maka hasil interpretasi data geofisika akan semakin tepat. Dalam studi ini data pendukung yang digunakan adalah data geologi, data CMP dan data sumur bor.

4.1.1 Data Geologi

Daerah penelitian didominasi oleh intrusi granit dan diorit kuarsa. Morfologi perbukitan bergelombang merupakan bagian terbesar daerah penelitian yang merupakan tempat konsentrasi endapan bauksit. Morfologi ini memiliki kemiringan lereng berkisar antara 15 – 40 derajat yang masih tergolong landai.

Endapan bauksit laterit terbentuk akibat pelapukan batuan yang mengandung aluminium seperti granit, diorit dan gabro yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur yang mudah larut seperti Si, Co, dan Fe. Air hujan yang mengandung CO₂ dari udara meresap ke bawah sampai ke zona intermediate sambil melindih mineral primer yang tidak stabil seperti piroksin. Unsur-unsur yang terbawa bersama larutan seperti silika dan sedikit besi serta aluminium akan mengendap di zona intermediate sehingga terbentuk lapisan clay yang kaya akan silika.

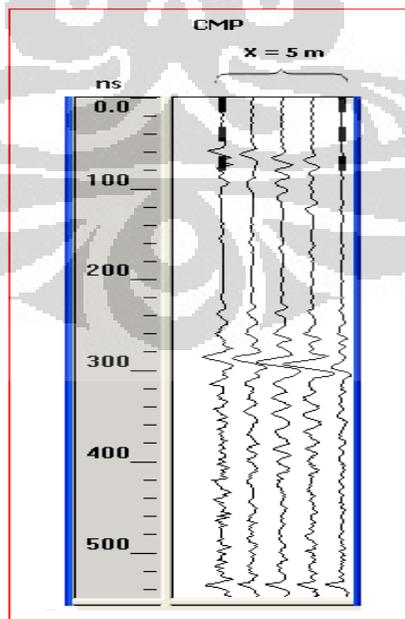
Bauksit merupakan hasil dari residu yang tertinggal di dalam batuan induk setelah terjadi proses pelapukan. Pengendapan unsur-unsur yang mudah larut seperti silika dan juga sedikit aluminium dan besi akan masuk ke zona intermediate. Pada zona ini terbentuk mineral clay (lempung) dengan kandungan silika dan sedikit aluminium serta besi yang halus.



Gambar 4.1. Model perlapisan endapan bauksit laterit

4.1.2 Data CMP

Daerah penelitian juga dilengkapi dengan data Common Mid Point (CMP) untuk mengetahui variasi kecepatan gelombang radar pada masing – masing lapisan yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui secara jelas batas antara lapisan tersebut melalui metode analisis kecepatan sehingga dapat diketahui kedalaman yang sebenarnya dari masing – masing lapisan tersebut. Berikut adalah hasil CMP :



Gambar 4.2. Data CMP

Dari data CMP dapat diketahui nilai kecepatan masing – masing lapisan, dengan menggunakan persamaan (2.21). Nilai kecepatan ini akan digunakan dalam menentukan nilai dari konstanta dielektrik tiap lapisan dengan menggunakan persamaan (2.18).

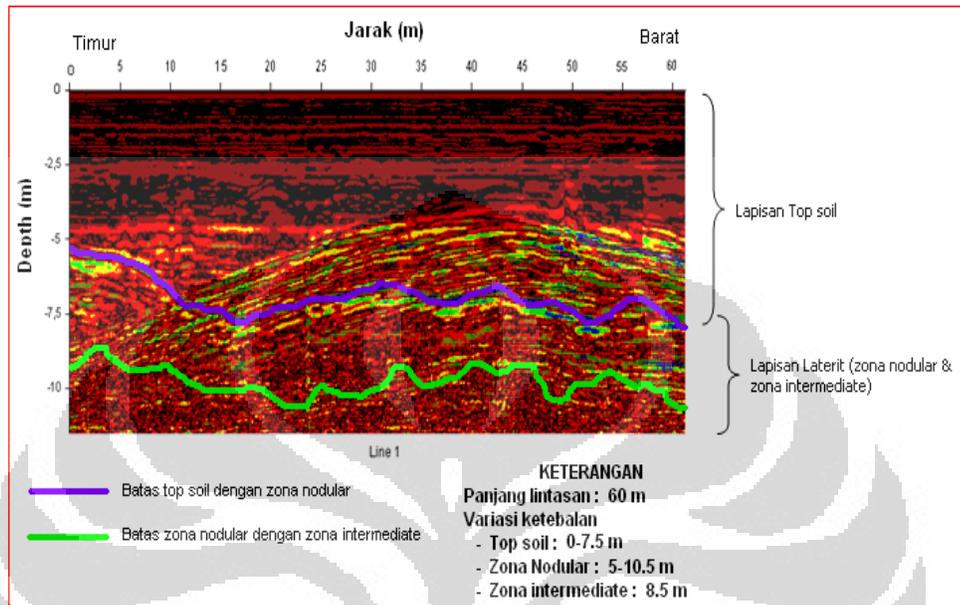
4.1.3 Data GPR

Pengukuran georadar ini dimaksudkan untuk mengetahui penyebaran endapan bauksit laterit berdasarkan perbedaan konstanta dielektrik batuan yang terdapat pada masing – masing lapisan. Kontras konstanta dielektrik pada 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 endapan bauksit laterit mulai dari atas ke bawah umumnya terdiri dari 4 lapisan yaitu lapisan top soil, lapisan laterit yang meliputi lapisan nodular dan intermediate, serta bedrock. Pada hasil dari pengolahan data, lapisan bedrock tidak terdeteksi, disebabkan karena penetrasinya tidak terlalu dalam karena antena yang digunakan adalah 80 Mhz. Sehingga dari hasil pengolahan diketahui batasan antara lapisan top soil dengan lapisan laterit yaitu zona nodular (bauksit) dan intermediate dengan jelas. Ke-tiga lapisan ini memiliki konstanta dielektrik dan konduktivitas yang berbeda. Untuk membedakan lapisan – lapisan ini maka pada tahap pengolahan data telah dilakukan variasi konstanta dielektrik. Konstanta dielektrik yang digunakan adalah sama untuk lapisan yang sama pada masing – masing *line*. Berikut merupakan hasil interpretasi dari masing – masing *line*.

Pada *line* – 1 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 endapan bauksit laterit yaitu top soil, lapisan laterit yaitu zona nodular dan intermediate. Ke-tiga lapisan ini dibatasi oleh 2 reflektor yang ditandai dengan

garis berwarna ungu yaitu batas antara top soil dengan lapisan nodular, garis berwarna hijau yaitu batas antara lapisan nodular dengan lapisan intermediate.



Gambar 4.3. Hasil pemodelan data *line* – 1

Top soil merupakan lapisan yang sangat resistif dan kandungan air tanah yang sedikit menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini sangat kuat karena absorpsi energi gelombang radarnya kecil. Konstanta dielektrik yang digunakan dalam eksplorasi bauksit untuk lapisan top soil adalah 7 (data CMP). Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 111 m/ μ s. Dari hasil interpretasi, kedalaman lapisan ini diperkirakan 0-7,5 m.

Lapisan nodular merupakan lapisan yang resistif dengan kandungan air tanah yang sedikit. Hal ini menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini sangat kuat karena absorpsi energi gelombang radarnya kecil. Pada lapisan nodular konstanta dielektrik yang digunakan adalah 6 (data CMP). Kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 121 m/ μ s. Kedalaman lapisan ini diperkirakan sekitar 5-10,5 m.

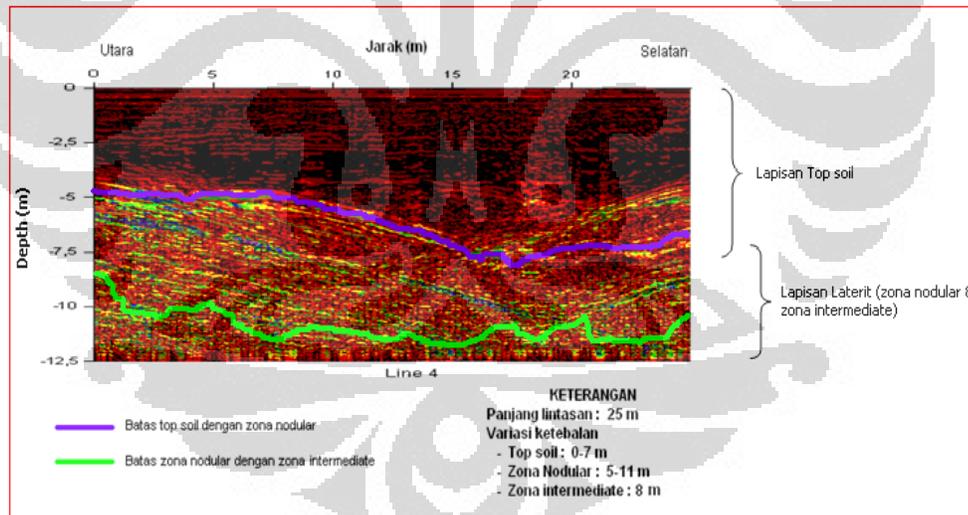
Lapisan intermediate merupakan lapisan yang konduktif dibandingkan dengan lapisan nodular dan kandungan mineralnya adalah clay (lempung),

sehingga menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini lemah karena absorpsi energi gelombang radarnya lebih besar. Pada lapisan intermediate konstanta dielektrik yang digunakan adalah 6,5. Kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 117 m/ μ s. Kedalaman lapisan ini diperkirakan sekitar 8,5-24 m.

Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 1 tampak pada gambar 4.2 dan nilai parameter fisis hasil interpretasi terlihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Nilai parameter fisis hasil interpretasi data *line* - 1

<i>LAPISAN</i>	ϵ	$v(m/\mu s)$	<i>Depth(m)</i>
Top soil	7	111	0-7,5
Nodular	6	121	5-10,5
Intermediate	6,5	117	8,5-24



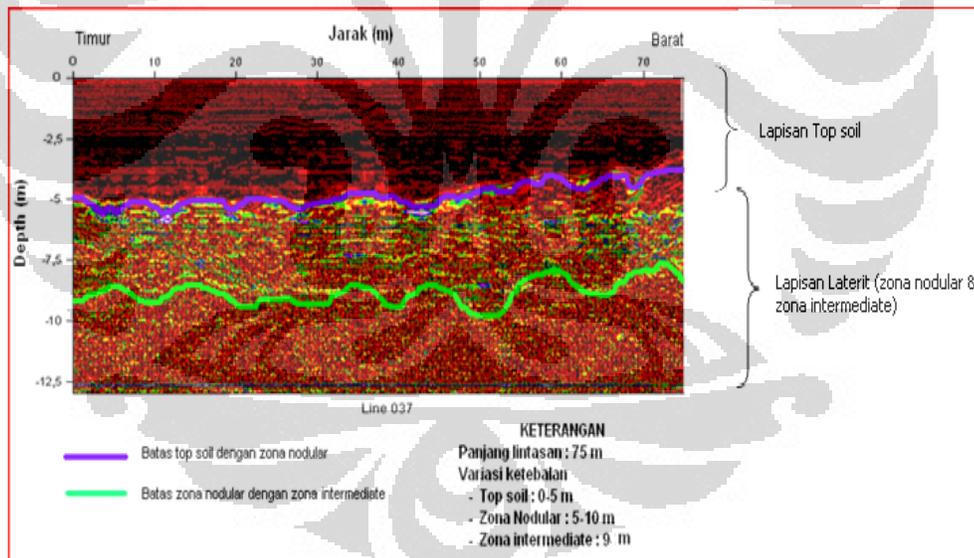
Gambar 4.4. Hasil pemodelan data *line* – 4

Untuk *line* – 4 interpretasi data dilakukan dengan menggunakan nilai konstanta dielektrik lapisan batuan yang sama dengan *line* – 1. Konstanta dielektrik yang digunakan untuk lapisan top soil adalah 7, untuk lapisan nodular adalah 6, dan untuk lapisan intermediate adalah 6,5. Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan top soil adalah sekitar 111

$m/\mu s$, pada lapisan nodular adalah sekitar $121 m/\mu s$, dan pada lapisan intermediate adalah sekitar $117 m/\mu s$. Dari hasil interpretasi kedalaman lapisan top soil diperkirakan 0-7 m, kedalaman lapisan nodular diperkirakan sekitar 5-11 m, dan untuk kedalaman lapisan intermediate diperkirakan sekitar 8-24 m. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 4 tampak pada gambar 4.3 dan nilai parameter fisis hasil interpretasi terlihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Nilai parameter fisis hasil interpretasi data *line* - 4

<i>LAPISAN</i>	ϵ	$v(m/\mu s)$	<i>Depth(m)</i>
Top soil	7	111	0-7
Nodular	6	121	5-11
Intermediate	6,5	117	8-24



Gambar 4.5. Hasil pemodelan data *line* – 037

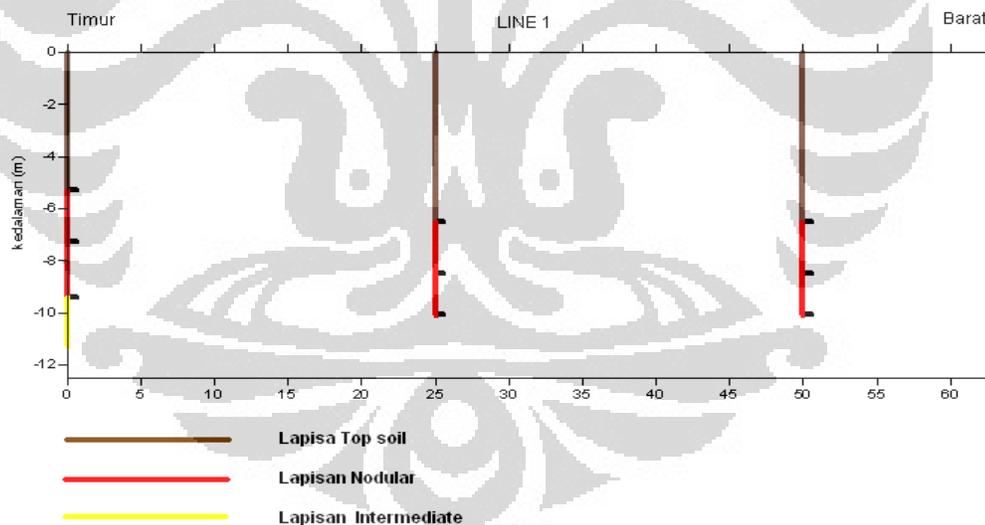
Untuk *line* – 037 interpretasi data dilakukan dengan menggunakan nilai konstanta dielektrik lapisan batuan yang sama dengan *line* – 1 dan *line* - 4. Konstanta dielektrik yang digunakan untuk lapisan top soil adalah 7, untuk lapisan nodular adalah 6, untuk lapisan intermediate adalah 6,5. Dari besaran ini

didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan top soil adalah sekitar 111 m/ μ s, pada lapisan nodular adalah sekitar 121 m/ μ s, dan pada lapisan intermediate adalah sekitar 117 m/ μ s. Dari hasil interpretasi kedalaman lapisan top soil diperkirakan 0-5 m, kedalaman lapisan nodular diperkirakan sekitar 5-10 m, dan untuk kedalaman lapisan intermediate diperkirakan sekitar 9-24 m. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 037 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* - 037

<i>LAPISAN</i>	ϵ	$v(m/\mu s)$	<i>Depth(m)</i>
Top soil	7	111	0-5
Nodular	6	121	5-10
Intermediate	6,5	117	9-24

4.1.4 Data Sumur Bor



Gambar 4.6. Data sumur bor *line* – 1

nodular adalah 6,25-10 m. Pada sumur bor di titik 50 m kedalaman top soil adalah 0-6,25 m, kedalaman lapisan nodular adalah 6,25-10 m.

Pada *line* – 4 terdapat 2 sumur bor yaitu pada titik 0, 25 m. Garis berwarna coklat menunjukkan lapisan top soil, garis berwarna merah menunjukkan lapisan nodular, dan garis berwarna kuning menunjukkan lapisan intermediate. Pada sumur bor di titik 0 m kedalaman top soil adalah 0-4,75 m, kedalaman lapisan nodular adalah 4,75-8 m, dan kedalaman lapisan intermediate adalah 8 m ke bawah. Pada sumur bor di titik 25 kedalaman top soil adalah 0-6,75 m, kedalaman lapisan nodular adalah 6,75-10,15 m.

Pada gambar 4.8 merupakan penampakan fisik dari tempat melakukan pengukuran, terlihat batasan lapisan dengan jelas antara lapisan top soil dengan lapisan nodular, dan lapisan nodular dengan lapisan intermediate.

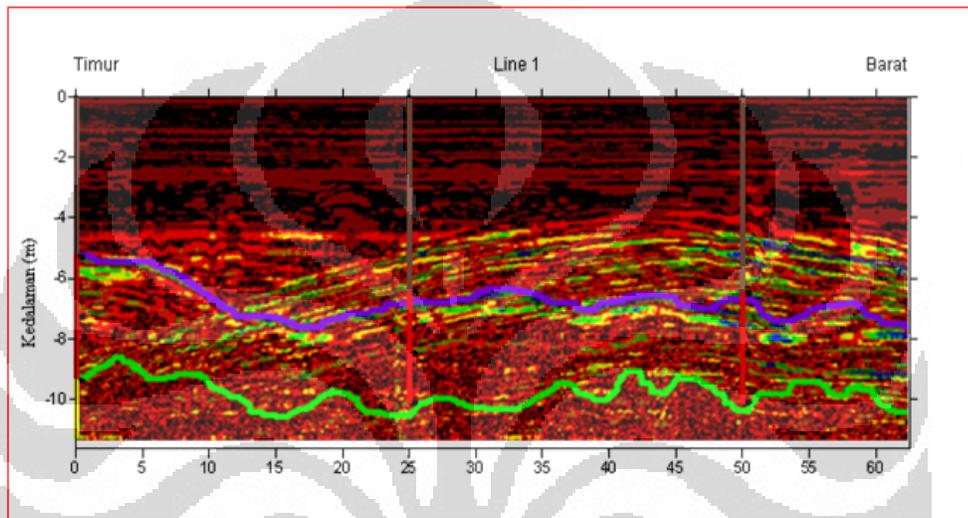
4.2 Analisis Data Keseluruhan

Pembahasan dalam sub-bab ini merupakan analisis gabungan dari hasil interpretasi data GPR yang telah dilakukan dengan ditunjang oleh data pendukung antara lain data geologi, dan data data sumur bor. Dari analisis ini diharapkan dapat diketahui adanya zona – zona yang berhubungan dengan endapan bauksit laterit yaitu top soil, lapisan laterit yang meliputi lapisan nodular dan lapisan intermediate. Dari analisis ini juga diharapkan dapat diketahui kedalaman masing – masing lapisan tersebut yang selanjutnya dijadikan sebagai parameter untuk rekomendasi titik bor.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu bahwa endapan bauksit laterit terbentuk akibat pelapukan batuan yang mengandung aluminium seperti granit, diorit, gabro, basalt, dan syenit. Dari data geologi regional menyebutkan daerah eksplorasi secara regional didominasi oleh kelompok batuan vulkanik, berupa granit, diorit dan gabro. Berdasarkan data geologi regional ini hubungannya dengan batuan dasar pembentukan endapan bauksit laterit dapat dikatakan bahwa di daerah penelitian terdapat endapan bauksit laterit.

Dari hasil interpretasi data GPR yang dilakukan telah diketahui zona – zona yang berhubungan dengan endapan bauksit laterit yaitu top soil, lapisan nodular, lapisan intermediate. Dari hasil interpretasi menunjukkan

kedalaman masing – masing lapisan ini sangat bervariasi. Kedalaman yang diperoleh dari hasil interpretasi ini tidak dapat dikatakan sebagai kedalaman yang sebenarnya karena pengaruh beberapa faktor seperti keterbatasan melakukan interpretasi dan kurangnya data pendukung. Untuk mengetahui kedalaman yang sebenarnya dari masing – masing lapisan tersebut perlu dilakukan pemboran (Kalam, 2008).

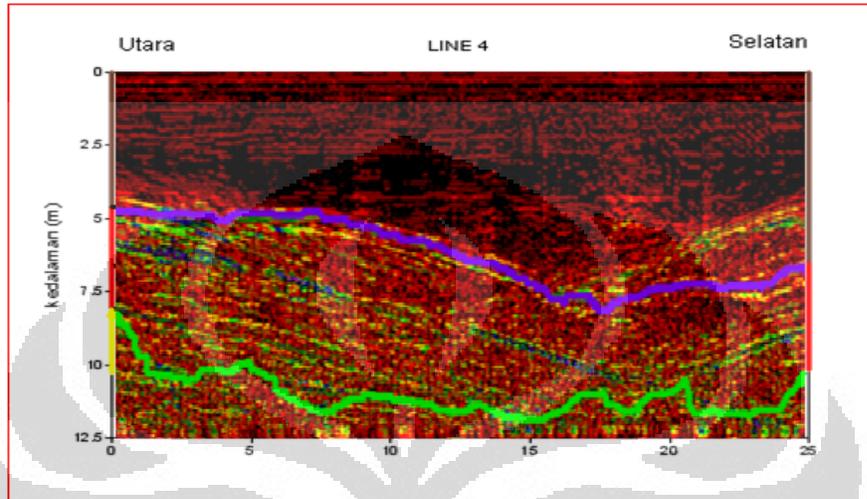


Gambar 4.9. Korelasi data sumur bor dan data GPR *line – 1*

Berdasarkan data sumur bor *line – 1* yang dikorelasikan dengan interpretasi data GPR *line – 1* menunjukkan adanya kesesuaian kedalaman pada titik 0 dan 50 m, akan tetapi ada juga ketidaksesuaian yaitu pada titik 25 m. Pada sumur bor di titik 0 m kedalaman top soil adalah 0-5,25 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-5,25 m. Kedalaman lapisan nodular adalah 5,25-9,25 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 5,25-9,25 m. Kedalaman lapisan intermediate adalah 9,25 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 9,25 m.

Pada sumur bor di titik 25 m kedalaman top soil adalah 0-6,25 m dan pada data GPR menunjukkan kedalaman 0-6,5 m terjadi ketidaksesuaian sebesar 0,25 m. Kedalaman lapisan nodular adalah 6,25-10 m dan pada data GPR menunjukkan kedalaman 6,5-10,25 m.

Pada sumur bor 50 m kedalaman top soil adalah 0-6,25 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-6,25 m. Kedalaman lapisan nodular adalah 6,25-10 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 6,25-10 m.



Gambar 4.10. Korelasi data sumur bor dan data GPR *line* – 4

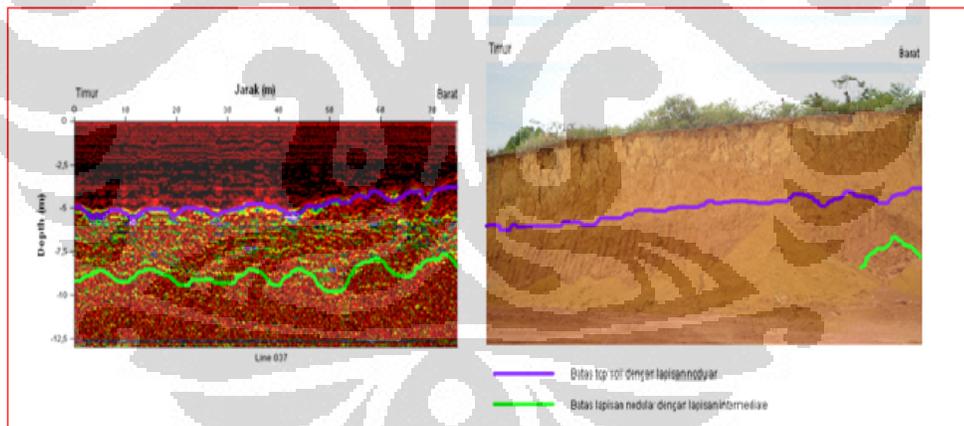
Berdasarkan data sumur bor *line* – 4 yang dikorelasikan dengan interpretasi data GPR *line* – 4 menunjukkan adanya kesesuaian kedalaman pada titik 0 dan 25 m. Pada sumur bor di titik 0 m kedalaman top soil adalah 0-4,75 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-4,75 m. Kedalaman lapisan nodular adalah 4,75-8 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 4,75-8 m. Kedalaman lapisan intermediate adalah 8 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 8 m.

Pada sumur bor di titik 25 m kedalaman top soil adalah 0-6,75 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-6,75 m. Kedalaman lapisan nodular adalah 6,75-10,15 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 6,75-10,15 m.

Adapun ketidaksesuaian kedalaman antara hasil interpretasi data GPR dengan data sumur bor pada *line* – 1 titik 25 m dikarenakan antara perlapisan terdapat perubahan besar butir yang sulit diidentifikasi batas perlapisan sebenarnya. Hal inilah menyebabkan perbedaan kedalaman antara hasil interpretasi data GPR dengan data sumur bor.

Hasil processing GPR pada *line* – 1 di atas lapisan top soil terdapat sinyal yang kuat, itu diakibatkan karena terdapatnya bongkahan batuan yang cukup besar sehingga mengakibatkan terdeteksi sinyal yang kuat yang membentuk seakan-akan sebuah perlapisan. Begitu juga dengan data processing GPR *line* – 4 pada lapisan nodular juga terdeteksi bongkahan yang cukup besar. Energi gelombang saat melewati bongkahan akan besar disebabkan karena bongkahan bersifat sangat resistif sehingga gelombang sinyal yang terekam akan memiliki intensitas energi dan amplitudo gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Sehingga akan mengakibatkan sinyal di lapisan bawahnya menjadi tidak jelas, hal ini berpengaruh dalam mencari batas antara lapisan nodular dan intermediate yang mana batas lapisannya sulit dibedakan. Selain itu, penyebab lapisan nodular dan intermediate sulit dibedakan karena kontras konstanta dielektrik antara lapisan tersebut kecil.

Berikut ini merupakan gambaran antara hasil pemodelan data GPR dengan penampakan fisik daerah pengukuran :



Gambar 4.11. Data GPR *line* – 037 dan Penampakan fisik daerah pengukuran

Dari gambar terlihat bentuk perlapisan yang hampir sama, dengan kedalaman sama atau mendekati. Garis ungu menunjukkan batas lapisan antara top soil dengan lapisan nodular, garis hijau menunjukkan batas lapisan antara zona nodular dan intermediate. Pada data GPR kedalaman top soil adalah 0 – 5 m, lapisan nodular adalah 5 – 10 m, dan untuk lapisan intermediate menunjukkan kedalaman dari 7,5 m.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

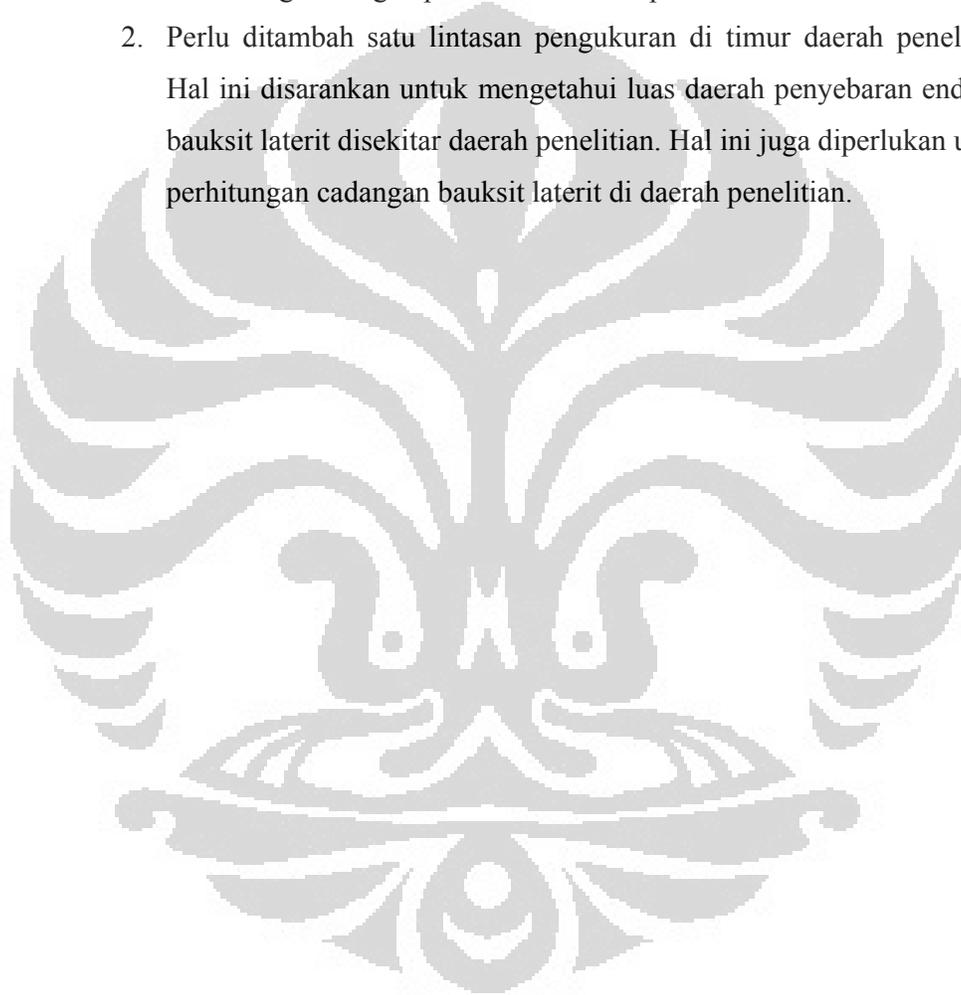
Berdasarkan hasil pengolahan data dan interpretasi serta analisis data GPR yang diintegrasikan dengan data pendukung lainnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah hasil pengukuran dengan frekuensi 80 MHz dan pada penelitian ini berhasil mendeteksi sampai kedalaman sekitar 13 meter.
2. Dari data CMP diperoleh nilai kecepatan pada lapisan top soil adalah 111 m/ μ s, lapisan nodular 121 m/ μ s, dan lapisan intermediate 117 m/ μ s.
3. Pada pengolahan data yang telah dilakukan variasi konstanta dielektrik merupakan faktor penting untuk mengetahui batas antar lapisan. Variasi konstanta dielektrik untuk lapisan top soil adalah 7, untuk lapisan nodular adalah 6, dan untuk lapisan intermediate adalah 6,5. Konstanta dielektrik ini mempengaruhi ketebalan masing – masing lapisan.
4. Pada penelitian ini metode GPR berhasil mendeteksi zona – zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit. Zona – zona tersebut adalah top soil sampai kedalaman 7,5 meter, lapisan laterit yang meliputi lapisan nodular sampai kedalaman 11 meter, dan lapisan intermediate sampai kedalaman kurang lebih 12,5 meter.

5.2 Saran

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

1. Dalam pengambilan data CMP sebaiknya jarak maksimum transmitter dan receiver yang digunakan lebih dari 5 meter, agar dapat mewakili seluruh daerah penelitian dalam mengetahui batas antara lapisan yang berhubungan dengan pembentukan endapan bauksit laterit.
2. Perlu ditambah satu lintasan pengukuran di timur daerah penelitian. Hal ini disarankan untuk mengetahui luas daerah penyebaran endapan bauksit laterit disekitar daerah penelitian. Hal ini juga diperlukan untuk perhitungan cadangan bauksit laterit di daerah penelitian.



REFERENSI

- Annan, A.P. 2001. *Ground Penetrating Radar Workshop Notes*. Canada.
- Eggleton, Richard A. 2001. *The Regolith Glossary Surficial Geology Soil and Landscapes*. Australia
- Fisher, Steven C., and Stewart, Robert R. 1992. *Processing Ground Penetrating Radar Data*. University of Calgary.
- Hendri, Kalam S. 2008. *Deteksi keberadaan endapan nikel laterit dengan pemanfaatan gelombang radar*. Universitas Indonesia.
- Mussett, Alan E., and Khan, M. Aftab. *Looking Into The Earth*. Cambridge University Press, New York.
- PT. Antam Tbk Unit Geomin. 2009. *Bauksit Laterit*. Jakarta.
- Reynold, J. M., 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysic*. England, John Wiley and Sons, inc.
- Valeton, Ida. 1972. *Bauxites Developments in soil science 1* . New York
- <http://bauxiteresources.com.au/download/vol1.Issue3.pdf> (Jum'at 23 Oktober 2009, 22:15)
- <http://gaoscity.blogspot.com/2009/03/pengaruh-air-tanah-dalam-pembentukan.html> (Sabtu 10 Oktober 2009, 21:35)
- <http://miningunited.blogspot.com/2009/03/eksplorasi-endapan-bauksit.html> (Sabtu 10 Oktober 2009, 21:30)

LAMPIRAN 1

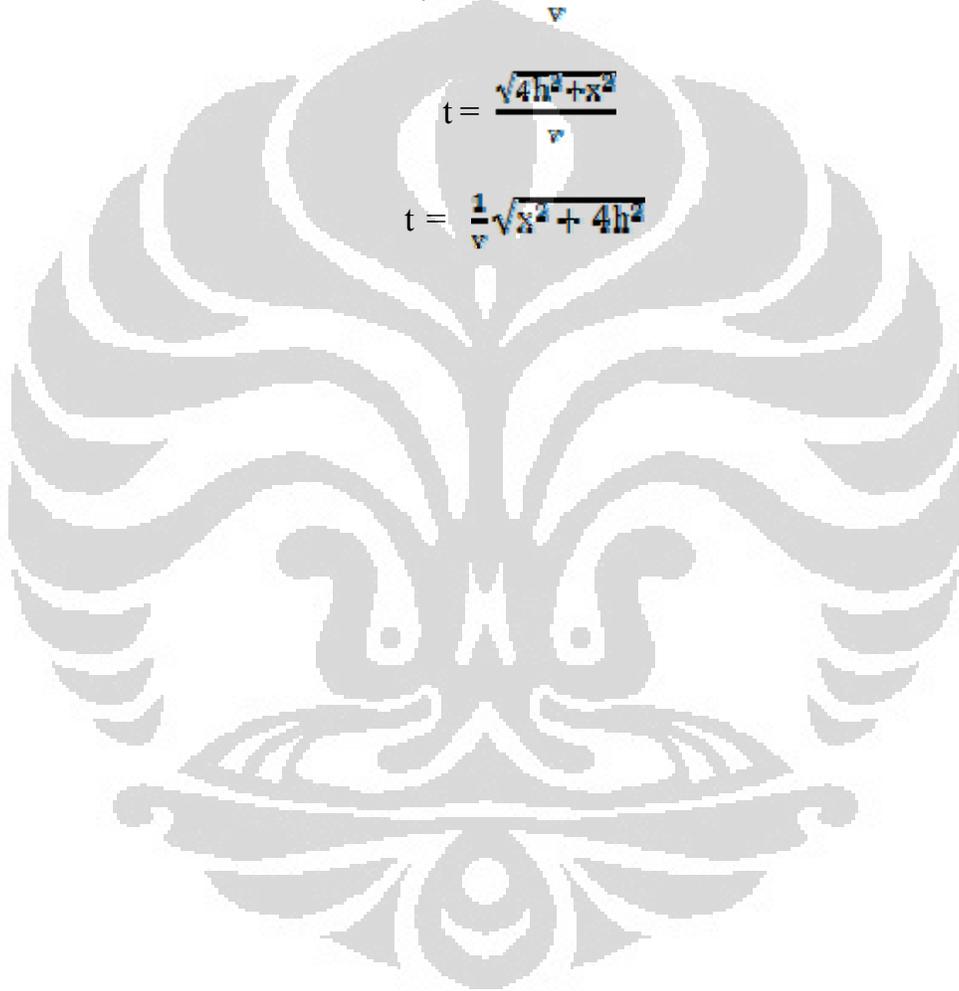
Perambatan Gelombang EM :

$$t = \frac{x}{v}$$

$$t = \frac{\sqrt{(2h)^2 + (x)^2}}{v}$$

$$t = \frac{\sqrt{4h^2 + x^2}}{v}$$

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 + 4h^2}$$



LAMPIRAN 2

Common Mid-point (CMP) :

$$2\sqrt{(h)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} = V_m \text{ td} \quad \dots\dots (1)$$

$$2\sqrt{(h)^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2} = V_m \text{ tx} \quad \dots\dots (2)$$

$$(h)^2 + \frac{d^2}{4} = \frac{V_m^2 \text{ td}^2}{4} \quad \dots\dots (3)$$

$$(h)^2 + \frac{x^2}{4} = \frac{V_m^2 \text{ tx}^2}{4} \quad \dots\dots (4)$$

Eliminasi persamaan (3) dan (4) :

$$\frac{x^2 - d^2}{4} = \frac{V_m^2}{4} (\text{tx}^2 - \text{td}^2) \quad \dots\dots (5)$$

$$V_m = \sqrt{\frac{x^2 - d^2}{\text{tx}^2 - \text{td}^2}} \quad \dots\dots (6)$$

Karena $d \approx$ sangat kecil dan diabaikan, sehingga persamaan (6) menjadi :

$$V_m = \sqrt{\frac{x^2}{\text{tx}^2 - \text{td}^2}} \quad \dots\dots (7)$$

$$V_m = \frac{x}{\sqrt{\text{tx}^2 - \text{td}^2}} \quad \dots\dots (8)$$