



**UNIVERSITAS INDONESIA**

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

**Skripsi diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**

**Sains**

**PEMINATAN GEOFISIKA**

**DEPARTEMEN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**DEPOK**

**2008**

**Oleh :**

**KALAM HENRY SIANTURI**

**0304020426**

## LEMBAR PENGESAHAN

**Nama** : Kalam Henry Sianturi  
**Nomor Pokok Mahasiswa** : 0304020426  
**Jurusan** : Fisika  
**Peminatan** : Geofisika  
**Tanggal Sidang** : 05 Desember 2008  
**Judul Jurnal Skripsi** : Deteksi Keberadaan Endapan Nikel Laterit  
dengan Pemanfaatan Gelombang Radar

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Dr. Syamsu Rosid

Penguji I

Penguji II

**Dr. Eng. Yunus Daud, M.Sc**

**Dr. Supriyanto**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME karena berkat dan anugerahnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Deteksi Keberadaan Endapan Nikel 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:

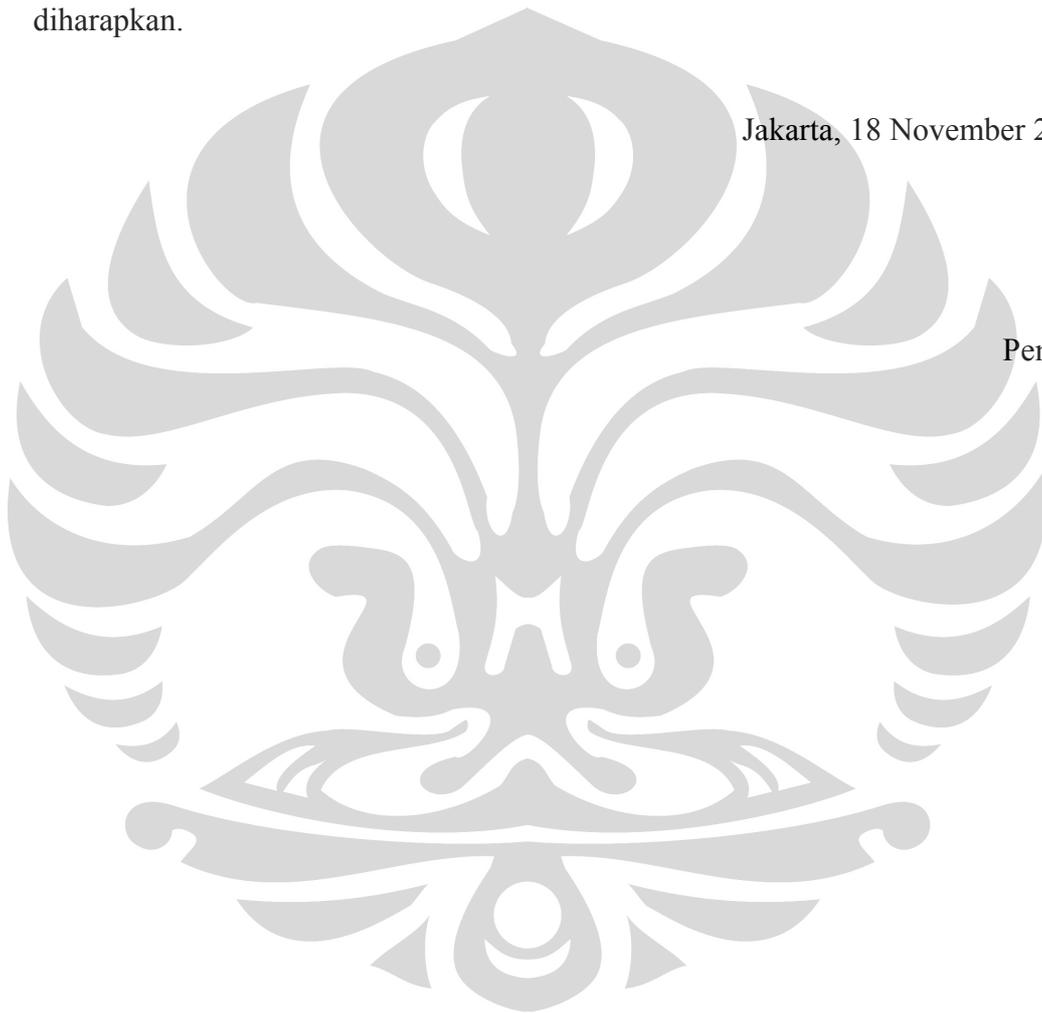
1. Bapak DR. Syamsu Rosid, selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Agustiar, Ssi. selaku Kepala Biro Geofisika dan Pengukuran Unit Geomin, PT Aneka Tambang Tbk. yang telah memberikan bimbingan, nasehat, sarana dan 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 Abdul, Hendro, Jimmy, Rendy, Sandy, Satria, 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, 18 November 2008

Penulis



## ABSTRAK

Metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* yang diaplikasikan untuk mendeteksi zona-zona endapan nikel laterit dan kedalamannya didasarkan pada perbedaan konstanta dielektrik pada batas lapisan. Data yang digunakan terdiri dari 4 line. Data ini diolah dengan menggunakan *software* radan. Dari hasil pengolahan data ini akan dilakukan interpretasi untuk menentukan zona-zona endapan nikel laterit. Zona tersebut adalah top soil, lapisan limonit, lapisan saprolit, dan bedrock. Data-data yang mendukung data GPR ini adalah data geologi regional dan data sumur bor. Data geologi regional menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh batuan ultrabasa seperti basalt yang merupakan batuan dasar dari endapan nikel laterit. Data sumur bor digunakan sebagai pembandingan data GPR untuk mengkorelasikan kedalaman lapisan-lapisan yang berhubungan dengan pembentukan endapan nikel laterit. Berdasarkan hasil interpretasi kedalaman masing-masing lapisan ini bervariasi pada tiap-tiap line.

Kata kunci: *Ground Penetrating Radar (GPR)*, Nikel, Laterit, Software Radan, Top Soil, Limonit, Saprolit, Bedrock, Sumur Bor

(x+52) hlm; daftar gambar dan tabel

Daftar Acuan: 8 (1987-2007)

## ABSTRACT

The Ground Penetrating Radar (GPR) method has been applied to detect zones of laterite nickel deposit and its depth based on different of dielectric constant in reflector. The data that used consist of 4 line. The data was processed by using radan software. From the result of data processing, the interpretation has been done to define the zones of laterite nickel deposit. The zones are top soil, limonite layer, saprolite layer, and bedrock. The data that support GPR data are regional geology data and well log data. Regional geology data show that the research site is dominated by ultrabasa rock as basalt which is the bedrock of laterite nickel deposit. Well log data used as GPR data comparison to correlate the depth of layers related to forming laterite nickel deposit. Based on result of interpretation the depth of each layer is vary in each line.

Key Word: *Ground Penetrating Radar (GPR)*, Nickel, Laterite, Radan Software,

Top Soil, Limonite, Saprolite, Bedrock, Well Log

(x+52) pages; list of figure and tabel

References: 8 (1987-2007)

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                                | <b>i</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                   | <b>ii</b>   |
| <b>ABSTRAK</b> .....  | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                       | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                    | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                     | <b>x</b>    |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                                | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                      | 1           |
| 1.2 Tujuan Penulisan .....                                    | 3           |
| 1.3 Ruang Lingkup Masalah .....                               | 3           |
| 1.4 Metodologi Penelitian .....                               | 4           |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                               | 5           |
| <b>BAB II METODE GPR DAN GEOLOGI REGIONAL</b>                 |             |
| <b>DAERAH PENELITIAN</b> .....                                | <b>7</b>    |
| 2.1 Persamaan Gelombang Untuk GPR .....                       | 7           |
| 2.2 Prinsip Dasar GPR .....                                   | 9           |
| 2.3 Kecepatan, Penetrasi, dan Resolusi Gelombang Radar .....  | 10          |
| 2.4 Perambatan Gelombang dalam Tanah .....                    | 12          |
| 2.5 Metode pengukuran GPR .....                               | 14          |
| 2.5.1 Fixed T/R Offset Mode Continuous .....                  | 14          |
| 2.5.2 Fixed T/R Offset Mode Static Stacking .....             | 15          |
| 2.5.3 Common Mid-Point Mode Static Stacking .....             | 15          |
| 2.6 Geologi Regional dan Geomorfologi Daerah Penelitian ..... | 16          |
| 2.7 Geologi Nikel Laterit .....                               | 18          |
| 2.7.1 Genesa Nikel Laterit .....                              | 18          |
| 2.7.2 Penampang Laterit .....                                 | 19          |
| 2.7.3 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Laterisasi .....      | 20          |
| <b>BAB III DATA DAN PENGOLAHAN DATA</b> .....                 | <b>23</b>   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.1 Data Lapangan .....                            | 23        |
| 3.2 Pengolahan Data.....                           | 25        |
| 3.2.1 Horizontal Scaling.....                      | 25        |
| 3.2.2 Penguatan Amplitudo.....                     | 27        |
| 3.2.3 Filtering Data .....                         | 29        |
| 3.2.4 Deconvolution.....                           | 31        |
| 3.2.5 Distance Normalization.....                  | 33        |
| 3.2.6 Koreksi Statik .....                         | 35        |
| 3.2.7 Migrasi .....                                | 37        |
| <b>BAB IV INTERPRETASI DAN ANALISIS DATA .....</b> | <b>40</b> |
| 4.1 Interpretasi Data.....                         | 40        |
| 4.1.1 Data Geologi.....                            | 40        |
| 4.1.2 Data GPR.....                                | 41        |
| 4.1.3 Data Sumur Bor.....                          | 47        |
| 4.2 Analisis Data Keseluruhan.....                 | 48        |
| <b>BAB V KESIMPULAN .....</b>                      | <b>51</b> |
| 3.1 Kesimpulan.....                                | 51        |
| 3.1 Saran.....                                     | 51        |
| <b>REFERENSI</b>                                   |           |

## DAFTAR GAMBAR

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 1.1  | Kondisi Bawah Permukaan dari Endapan Nikel Laterit ..... | 2  |
| Gambar 1.2  | Diagram Alir Kerja Penelitian.....                       | 5  |
| 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  | Peta Geologi Regional Daerah Penelitian .....            | 17 |
| Gambar 2.5  | Model Geologi Endapan Nikel Laterit.....                 | 22 |
| Gambar 2.6  | Model Geofisika Endapan Nikel Laterit .....              | 22 |
| Gambar 3.1  | Peta Lintasan Pengukuran .....                           | 23 |
| Gambar 3.2a | Data Lapangan Line-1 .....                               | 24 |
| Gambar 3.2b | Data Lapangan Line-4.....                                | 24 |
| Gambar 3.2c | Data Lapangan Line-2.....                                | 24 |
| Gambar 3.2d | Data Lapangan Line-3.....                                | 25 |
| Gambar 3.3a | Data Hasil Proses Horizontal Scaling Line-1 .....        | 26 |
| Gambar 3.3b | Data Hasil Proses Horizontal Scaling Line-4.....         | 26 |
| Gambar 3.3c | Data Hasil Proses Horizontal Scaling Line-2.....         | 26 |
| Gambar 3.3d | Data Hasil Proses Horizontal Scaling Line-3.....         | 27 |
| Gambar 3.4a | Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-1 .....       | 28 |
| Gambar 3.4b | Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-4.....        | 28 |
| Gambar 3.4c | Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-2.....        | 28 |
| Gambar 3.4d | Data Hasil Proses Penguatan Amplitudo Line-3.....        | 29 |
| Gambar 3.5a | Data Hasil Proses Filtering Data Line-1.....             | 30 |
| Gambar 3.5b | Data Hasil Proses Filtering Data Line-4 .....            | 30 |
| Gambar 3.5c | Data Hasil Proses Filtering Data Line-2.....             | 30 |
| Gambar 3.5d | Data Hasil Proses Filtering Data Line-3 .....            | 31 |
| Gambar 3.6a | Data Hasil Proses Deconvolution Line-1 .....             | 32 |
| Gambar 3.6b | Data Hasil Proses Deconvolution Line-4 .....             | 32 |
| Gambar 3.6c | Data Hasil Proses Deconvolution Line-2 .....             | 32 |
| Gambar 3.6d | Data Hasil Proses Deconvolution Line-3 .....             | 33 |
| Gambar 3.7a | Data Hasil Proses Distance Normalization Line-1 .....    | 34 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.7b Data Hasil Proses Distance Normalization Line-4..... | 34 |
| Gambar 3.7c Data Hasil Proses Distance Normalization Line-2..... | 34 |
| Gambar 3.7d Data Hasil Proses Distance Normalization Line-3..... | 35 |
| Gambar 3.8a Data Hasil Proses Koreksi Statik Line-1 .....        | 36 |
| Gambar 3.8b Data Hasil Proses Koreksi Statik Line-4.....         | 36 |
| Gambar 3.8c Data Hasil Proses Koreksi Statik Line-2.....         | 36 |
| Gambar 3.8d Data Hasil Proses Koreksi Statik Line-3.....         | 37 |
| Gambar 3.9a Data Hasil Proses Migrasi Line-1.....                | 38 |
| Gambar 3.9b Data Hasil Proses Migrasi Line-4 .....               | 38 |
| Gambar 3.9c Data Hasil Proses Migrasi Line-2.....                | 38 |
| Gambar 3.9d Data Hasil Proses Migrasi Line-3 .....               | 39 |
| Gambar 4.1 Model Perlapisan Endapan Nikel Laterit .....          | 41 |
| Gambar 4.2 Hasil pemodelan Data Line-1 .....                     | 42 |
| Gambar 4.3 Hasil pemodelan Data Line-4.....                      | 44 |
| Gambar 4.4 Hasil pemodelan Data Line-2.....                      | 45 |
| Gambar 4.5 Hasil pemodelan Data Line-3.....                      | 46 |
| Gambar 4.6 Data Sumur Bor Line-3.....                            | 47 |
| Gambar 4.7 Korelasi Data Sumur Bor dan Data GPR Line-3 .....     | 50 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Nilai Parameter Fisis Material .....                                | 12 |
| Tabel 4.1 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 1 ..... | 44 |
| Tabel 4.2 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 4 ..... | 45 |
| Tabel 4.3 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 2 ..... | 46 |
| Tabel 4.4 Nilai Parameter Fisis Hasil Interpretasi Data <i>line</i> - 3 ..... | 47 |



# BAB I PENDAHULUAN

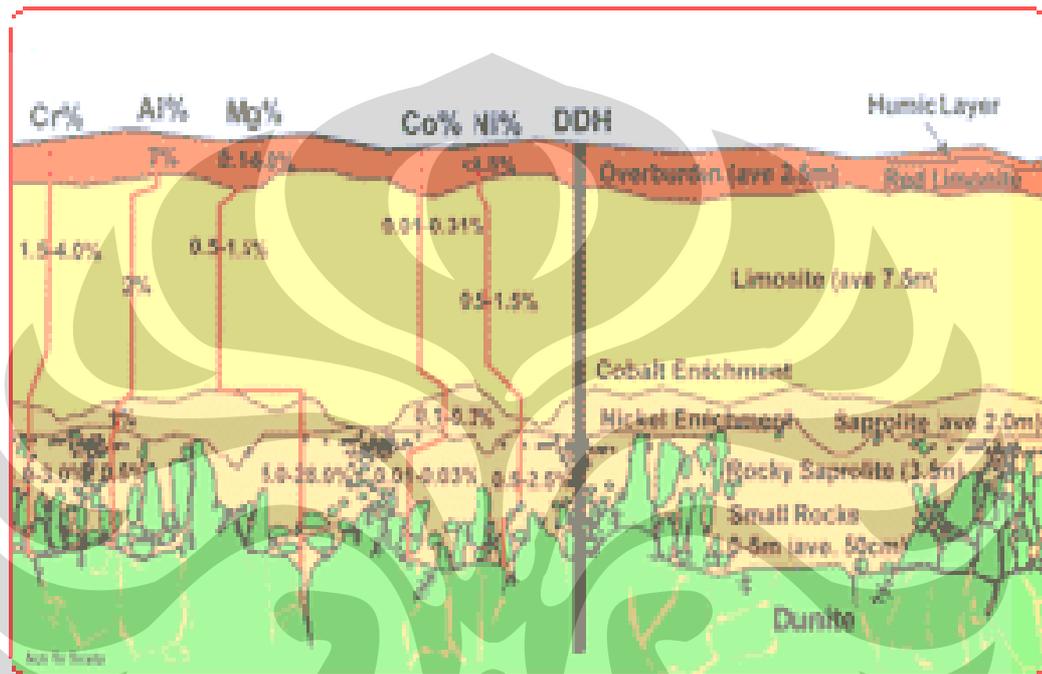
## 1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu jenis mineral yang memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi. Dewasa ini penggunaan logam nikel di berbagai sektor industri di dunia semakin meningkat sehingga membawa pengaruh terhadap perkembangan nikel di Indonesia. Bagi Indonesia nikel merupakan komoditas tambang utama yang sampai saat ini masih menjadi komoditas penghasil devisa yang cukup besar bagi Negara.

Dalam sebuah tahapan eksplorasi ada tahapan yang disebut dengan tahapan “bor eksplorasi”, dimana tahapan ini juga terdapat dalam eksplorasi nikel. Namun seperti yang telah diketahui, bahwa untuk melakukan sekali pemboran membutuhkan biaya yang sangat mahal. Untuk itu dibutuhkan informasi yang detail meliputi data geologi dan data geofisika yang sangat membantu untuk penentuan titik bor sehingga nilai “*drilling success ratio*” menjadi maksimal.

Informasi geologi pembentukan nikel laterit meliputi struktur, unsur-unsur dasar pembentuk endapan nikel laterit dan proses pengendapan yang terjadi. Struktur yang menyebabkan deformasi pada batuan yang sangat dominan dalam pembentukan nikel laterit adalah struktur rekahan-rekahan. Keberadaan struktur ini akan memudahkan air masuk dan proses pelapukan akan lebih intensif. Proses pengendapan nikel laterit adalah akibat pelapukan batuan ultramafik yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (Tim Eksplorasi Nikel Sulawesi, 2007). Cuaca telah merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur yang mudah larut seperti Ni. Air hujan yang mengandung unsur CO<sub>2</sub> meresap ke bawah memasuki rekahan-rekahan sebagai tempat terjadinya pelapukan sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit kemudian mengalir secara lateral dan selanjutnya lebih banyak didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal. Pada zona limonit hampir semua unsur yang mudah larut hilang terubah oleh unsur-unsur yang dibawa oleh air hujan. Zona ini didominasi oleh mineral goethit, juga terdapat magnetit, hematit dan kuarsa sekunder (Tim Eksplorasi Nikel Sulawesi, 2007). Kandungan air tanah pada zona ini jauh lebih kecil dibandingkan

pada zona saprolit sehingga zona ini bersifat lebih resistif. Pada zona saprolit batuan dasar ultramafik akan berubah menjadi saprolit akibat pengaruh air tanah. Mineral utama pada zona ini adalah garnierit, serpentin, Ni-kalsedon dan kuarsa sekunder. Kandungan air tanah pada zona ini lebih banyak sehingga zona ini bersifat lebih konduktif.



**Gambar 1.1.** Kondisi bawah permukaan dari endapan nikel laterit (Francke and Nobes, 2000)

Informasi data geologi ini didukung oleh data geofisika yang dapat melokalisir zona penyebaran nikel laterit. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk melokalisir keberadaan nikel laterit adalah metode *Ground Penetrating Radar* (GPR). Metode ini cukup efektif untuk memetakan profil vertikal bawah permukaan. Dari profil radar dapat diketahui zona-zona saprolit, limonit, dan bedrock yang merupakan zona yang berasosiasi dengan pembentukan nikel 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 nikel laterit.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

- Memahami fenomena penjalaran gelombang elektromagnetik dalam mendeteksi keberadaan endapan nikel laterit.
- Mengetahui proses pembentukan endapan nikel laterit dan zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan nikel 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 nikel laterit.

## 1.3 Ruang Lingkup Masalah

Dalam penulisan skripsi ini penulis menggunakan data GPR yang merupakan hasil pengukuran di daerah “X” yang terdiri dari 4 lintasan dengan panjang lintasan mulai dari 100 - 250 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 antenna GPR yaitu perbedaan posisi ketinggian antara transmitter dan receiver.

#### 7. Migrasi

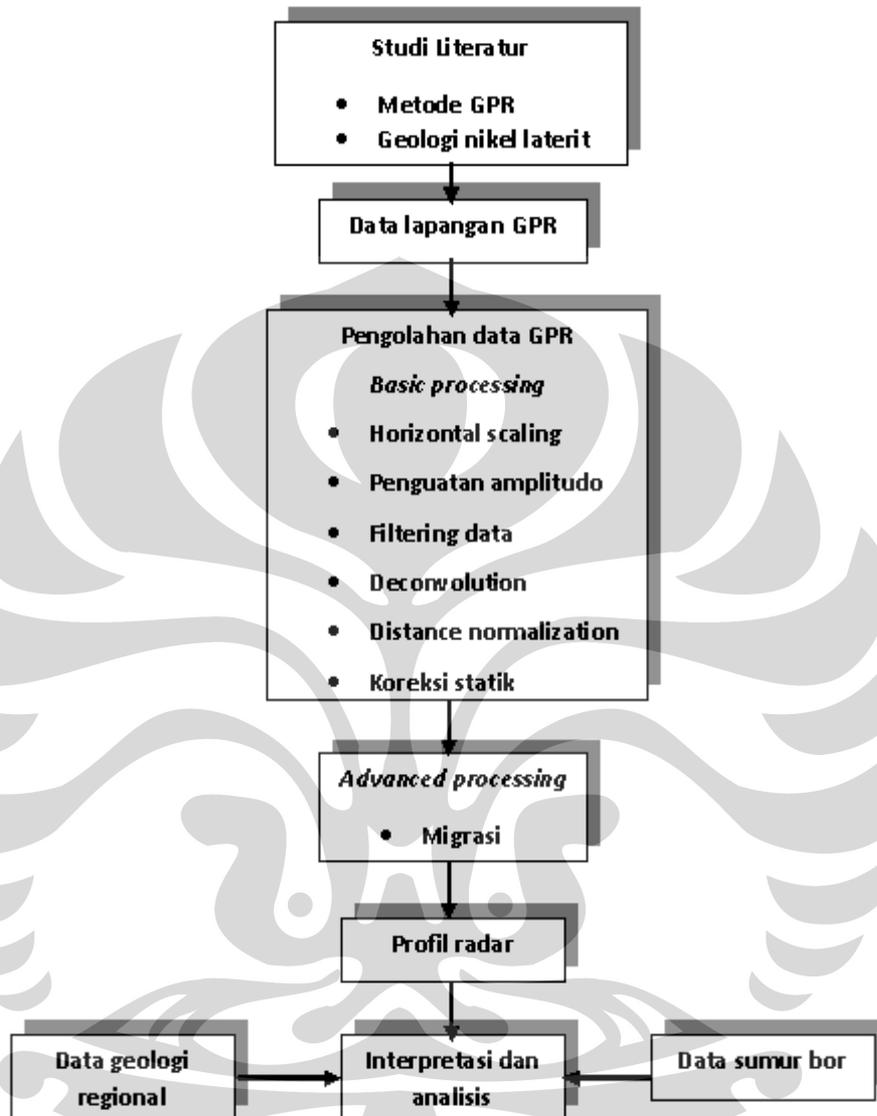
Migrasi merupakan proses menghilangkan efek difraksi dan koreksi lapisan-lapisan miring.

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

### 1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan meliputi beberapa tahapan yaitu mulai dari studi literatur yang meliputi metode GPR dan geologi nikel 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 nikel 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 nikel 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 nikel 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 nikel laterit, metode pengukuran GPR, geologi regional daerah penelitian dan geologi pembentukan endapan nikel 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 mengkompilasiannya dengan data geologi dan data sumur bor. Interpretasi yang akan dilakukan yaitu menentukan zona-zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan nikel 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/m<sup>2</sup> atau Tesla)  
 $\varepsilon$  = permitivitas listrik (F/m)  
 $\mu$  = permeabilitas magnetik (H/m)  
 $\mathbf{J}$  = densitas arus listrik (A/m<sup>2</sup>)  
 $\rho$  = densitas muatan (C/m<sup>3</sup>)

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 :  $\varepsilon = \varepsilon_0(1 + \chi_e)$   
 $\mu = \mu_0(1 + \chi_m)$   
 $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$   
 $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$   
 $\sigma = \text{konduktivitas listrik (S/m)}$

$\chi_m$  dan  $\chi_e$  masing-masing adalah suseptibilitas magnetik dan dielektrik medium yang merupakan fungsi kompleks terhadap frekuensi. Oleh karena itu,  $\varepsilon$  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  $\omega$ , 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  $\alpha$  berasosiasi dengan faktor pelemahan dalam db/m dan bagian imajiner  $\beta$  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 :

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

atau dapat dituliskan :

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

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 :

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

dimana  $\mathbf{J}_\sigma$  adalah rapat arus konduksi dan  $\mathbf{J}_d$  adalah rapat *displacement current*, keduanya dalam A/m<sup>2</sup>.

## 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 elektromagnetik 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).

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

dimana :

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

$c$  = kecepatan cahaya (m/s)

$\epsilon_r$  = 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 (terefleksikan) dengan koefisien refleksi:

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

dimana :

R = koefisien refleksi

$\epsilon_1$  = konstanta dielektrik lapisan pertama

$\epsilon_2$  = 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 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> | $\epsilon_r$ | $\sigma(ms/m)$ | $v(m/ns)$ | $\alpha(dB/m)$ |
|-----------------|--------------|----------------|-----------|----------------|
| 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.

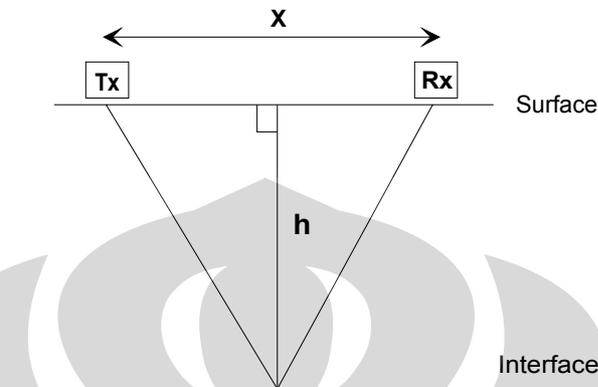
Dalam penelitian ini, metode GPR yang menggunakan gelombang radar akan diaplikasikan untuk mendeteksi endapan nikel laterit. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam endapan nikel laterit terdapat beberapa zona yang sangat berkaitan dengan proses pembentukan endapan nikel laterit yaitu zona limonit, zona saprolit, dan bedrock.

Pada zona limonit hampir semua unsur yang mudah larut hilang terubah oleh unsur-unsur yang dibawa oleh air hujan. Zona ini didominasi oleh mineral goethit, juga terdapat magnetit, hematit dan kuarsa sekunder (Tim Eksplorasi Nikel Sulawesi, 2007). 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.

Berbeda dengan zona limonit, zona saprolit merupakan zona yang konduktif. Hal ini disebabkan air tanah yang terdapat pada zona limonit meresap ke zona ini sehingga kandungan air tanah pada zona ini sangat besar. Air tanah merupakan material yang konduktif, sehingga ketika material penyusun zona saprolit seperti garnierit, serpentin, Ni-kalsedon dan kuarsa sekunder bercampur dengan air tanah menyebabkan zona ini bersifat konduktif. Ketika gelombang radar melalui lapisan ini, maka gelombang akan merambat lebih lambat dan amplitudo gelombang pada zona ini sangat kecil karena terjadinya proses absorpsi oleh air tanah yang terdapat pada zona ini.

Bedrock atau batuan dasar umumnya didominasi oleh batuan ultramafik seperti peridotit, piroksenit, serpentin yang masih segar belum mengalami pelapukan dan tekstur asli batuan masih tampak jelas (Tim Eksplorasi Nikel Sulawesi, 2007). Zona bedrock ini merupakan zona yang sangat tebal, lebih

bersifat resistif dan kandungan air tanah lebih sedikit dibandingkan zona saprolit. Pada zona ini gelombang merambat lebih cepat dan amplitudo gelombang juga lebih besar dibandingkan pada zona saprolit.



**Gambar 2.1.** Perambatan gelombang EM

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

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 beda waktunya, 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

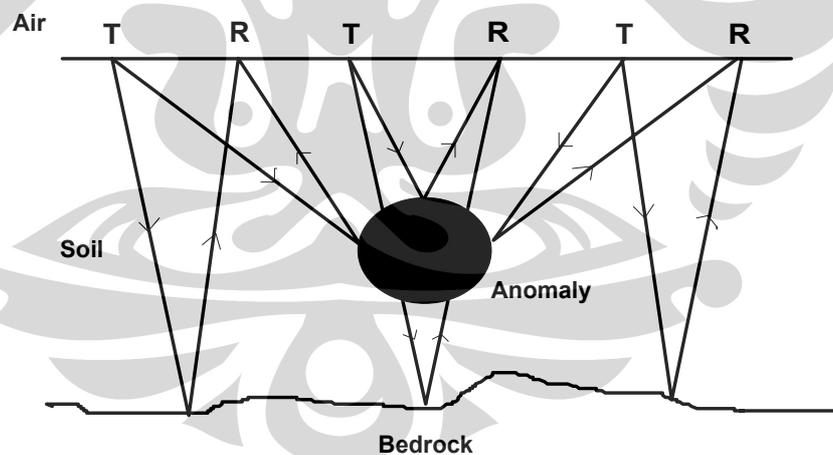
### 2.5.1 Fixed T/R Offset Mode Continuous

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 antena dipindahkan ke titik survey berikutnya, dan seterusnya. Pengumpulan hasil data ini dilakukan sampai mendapatkan kumpulan titik yang cukup untuk membuat profil area tersebut.

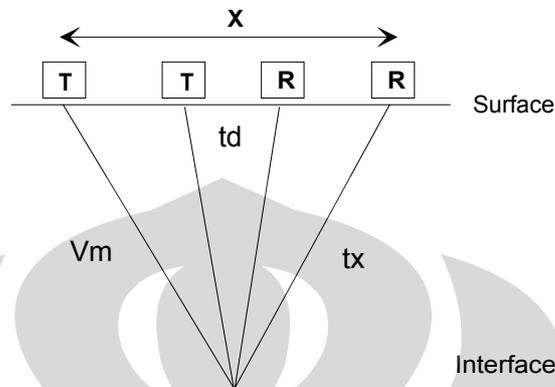


**Gambar 2.2.** Konfigurasi fixed T/R offset (Annan, 2001)

### 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 berikut ini:



**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

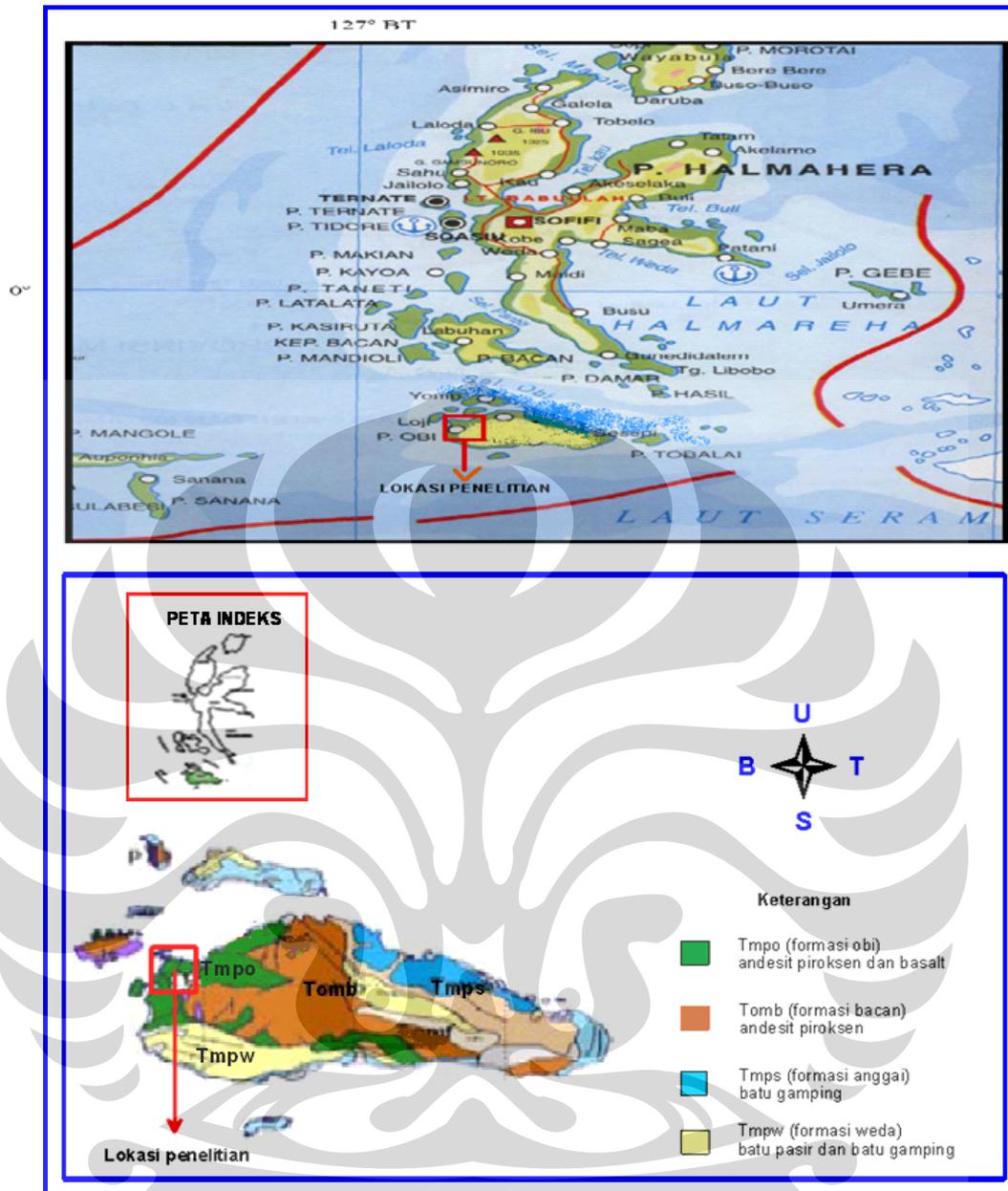
$X$  = jarak antara *transmitter* dan *receiver*

$t_d$  = waktu tempuh awal

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

## 2.6 Geologi Regional dan Geomorfologi Daerah Penelitian

Secara administratif daerah penelitian masuk dalam wilayah Propinsi Maluku Utara, Kabupaten Halmahera Utara, Kecamatan Obi. Berikut ini merupakan peta lokasi penelitian dan peta geologi regional daerah penelitian.



**Gambar 2.4.** Peta geologi regional daerah penelitian

Daerah eksplorasi secara regional didominasi oleh kelompok batuan vulkanik berupa andesit, diorite dan batuan ultrabasa berupa basalt, gabro, piroksenit dan serpentinit, menempati daerah penelitian yang memiliki morfologi pegunungan. Kemudian satuan batuan olifit/ ultrabasa, batuan vulkanik dan sediment menempati daerah yang bermorfologi perbukitan gelombang. Daerah tersebut didominasi oleh batuan ultrabasa yang telah berubah menjadi

serpentinisasi dengan tingkatan bervariasi dan berpotensi baik untuk endapan nikel laterit.

Struktur yang berkembang di daerah penelitian ialah patahan, lipatan dan kekar. Struktur patahan umumnya berarah Barat Laut – Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya. Struktur kekar disini umumnya dijumpai pada batuan ultrabasa. Dengan adanya patahan, lipatan, dan kekar-kekar diharapkan terbentuklah endapan nikel laterit yang intensif dan cukup luas.

Morfologi daerah penelitian dapat dibagi 3 (tiga) satuan morfologi yaitu satuan morfologi *pegunungan*, *perbukitan gelombang*, dan satuan morfologi *daratan*. Satuan morfologi pegunungan memiliki kisaran ketinggian antara 600 – 1200 m dpl serta kemiringan lereng cukup curam, sungai-sungai yang mengalir pada tipe morfologi disini adalah: sungai Timbuji, Leletongo, dan Jiko Dolong. Satuan topografi perbukitan gelombang mempunyai kisaran ketinggian antara 0 – 500 m dengan sudut lereng 5 - 20°. Morfologi daratan umumnya menempati daerah pantai dan sepanjang lembah sungai.

## **2.7 Geologi Nikel Laterit**

### **2.7.1 Genesa Nikel Laterit**

Laterit adalah zona endapan yang terbentuk sebagai hasil dari pelapukan (Eggleton, 2001). Profil laterit digunakan untuk menggambarkan zona pelapukan. Dalam endapan nikel secara umum laterit terdiri dari limonit dan saprolit. Limonit adalah zona endapan nikel yang bersifat resistif dan kandungan air tanahnya lebih sedikit (Francke and Nobes, 2000). Saprolit adalah zona endapan nikel yang bersifat konduktif dan kandungan air tanahnya lebih banyak (Francke and Nobes, 2000). Dalam eksplorasi nikel, limonit dan saprolit dibedakan berdasarkan unsur – unsur dan kadar nikel yang terendapkan didalamnya. Dimana kadar nikel dijumpai lebih banyak pada zona saprolit dibandingkan pada zona limonit.

Secara umum endapan nikel laterit terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik seperti peridotit yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur yang mudah larut seperti Ni, Co, dan Fe. Air hujan yang mengandung CO<sub>2</sub> dari udara meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah sambil melindih mineral primer

yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksin. Air tanah meresap secara perlahan dari atas ke bawah sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit kemudian mengalir secara lateral dan selanjutnya lebih didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal. Unsur-unsur yang terbawa bersama larutan seperti magnesium dan silikon akan mengalami pengendapan yang memungkinkan terbentuknya mineral baru.

Larutan yang mengandung nikel yang merupakan hasil dari pengendapan unsur-unsur yang mudah larut akan masuk ke zona saprolit. Pada zona ini batuan asal ultramafik akan berakumulasi dengan unsur-unsur yang mengandung nikel dan akan mengendap kembali pada rekahan-rekahan melalui transportasi oleh air tanah yang memasuki rekahan-rekahan tersebut sehingga zona saprolit ini akan menjadi jenuh dengan unsur nikel. Unsur-unsur yang tertinggal di zona limonit seperti besi, mangan, kobalt, dan juga nikel akan mengalami pelapukan lebih lambat akibat kurangnya konsentrasi air tanah pada zona ini sehingga kandungan nikel pada zona limonit akan lebih sedikit dibandingkan kandungan nikel pada zona saprolit.

### **2.7.2 Penampang Laterit**

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

- **Batuan Dasar (Bedrock)**  
Batuan dasar umumnya didominasi oleh batuan ultramafik seperti peridotit, piroksenit, dan serpentin yang masih segar dan belum mengalami pelapukan serta tekstur asli batuan masih terlihat dengan jelas.
- **Zona Saprolit**  
Batuan asal ultramafik pada zona ini akan berubah menjadi saprolit akibat pengaruh air tanah. Mineral-mineral utamanya adalah serpentin, kuarsa sekunder, dan garnierit. Mineral garnierit tidak dijumpai sebagai mineral murni tetapi bercampur dengan serpentin kadar rendah lainnya sehingga kadar nikel dalam bijih menjadi menurun. Pada zona ini penggantian magnesium oleh nikel mengakibatkan kadar nikel dalam serpentin akan bertambah.

- Zona Pelindian

Horizon ini merupakan zona transisi dari zona saprolit ke zona limonit di atasnya. Pada zona ini akan terjadi perubahan geokimia unsur dimana kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  akan naik, sedangkan kadar  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{MgO}$  akan turun.

- Zona Limonit

Pada zona limonit hampir semua unsur yang mudah larut hilang terlindi. Kadar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  akan naik, sedangkan kadar  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{MgO}$  akan turun. Zona ini didominasi oleh mineral goethit disamping juga terdapat hematit, magnetit, dan kuarsa sekunder.

- Zona Tanah Penutup

Pada zona ini umumnya didominasi oleh humus yang bersifat gembur dan kadang-kadang terdapat lempeng silika. Kadar Fe pada zona ini sangat tinggi dan sering dijumpai konkresi-konkresi besi, sedangkan kadar nikel relatif rendah.

### 2.7.3 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Laterisasi

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

- Batuan Asal

Batuan asal dalam pembentukan endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Batuan ini memiliki elemen Ni paling banyak dibandingkan dengan batuan lainnya, mineral-mineralnya mudah lapuk (tidak stabil), dan komponen-komponennya mudah larut yang memungkinkan terbentuknya endapan nikel.

- 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.  $\text{CO}_2$  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. Keadaan ini merupakan suatu petunjuk dimana pada hutan yang lebat akan terdapat endapan bijih nikel yang lebih tebal dan kadar yang lebih tinggi. Selain itu vegetasi dapat menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

- Struktur Geologi

Struktur menyebabkan deformasi pada batuan yang paling dominan dalam pembentukan endapan nikel adalah struktur rekahan dibandingkan dengan struktur patahan. Batuan ultrabasa 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.

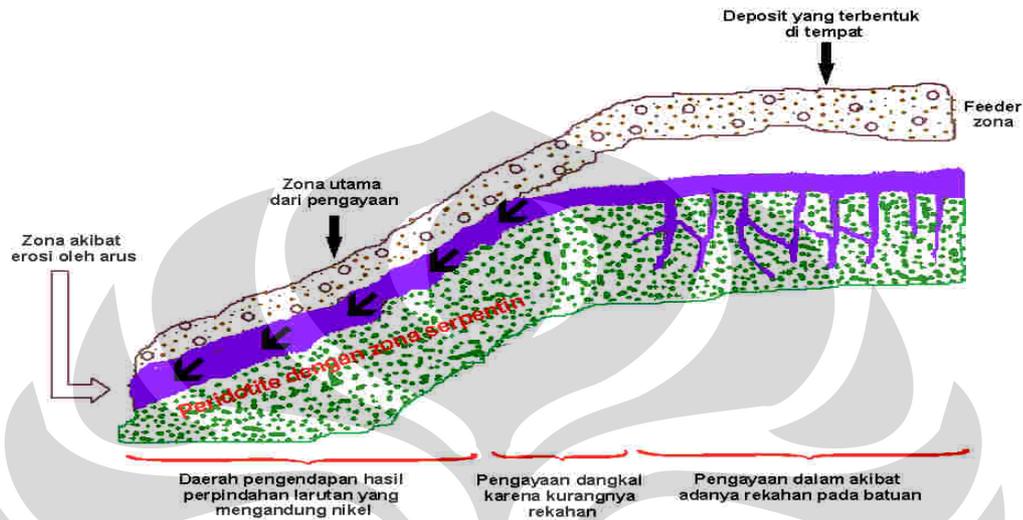
- Topografi

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. 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 nikel cukup tinggi.

Semua faktor yang telah disebutkan diatas sangat berpengaruh berpengaruh dalam pembentukan endapan nikel, khususnya endapan nikel laterit. Berikut ini adalah model endapan nikel laterit yang berhubungan dengan faktor – faktor diatas.



**Gambar 2.5.** Model geologi endapan nikel laterit (Tim Eksplorasi Nikel Sulawesi, 2007)

Adapun model geofisika zona endapan nikel laterit yang didasarkan pada parameter resistivitas dan konstanta dielektrik batumannya adalah sebagai berikut :

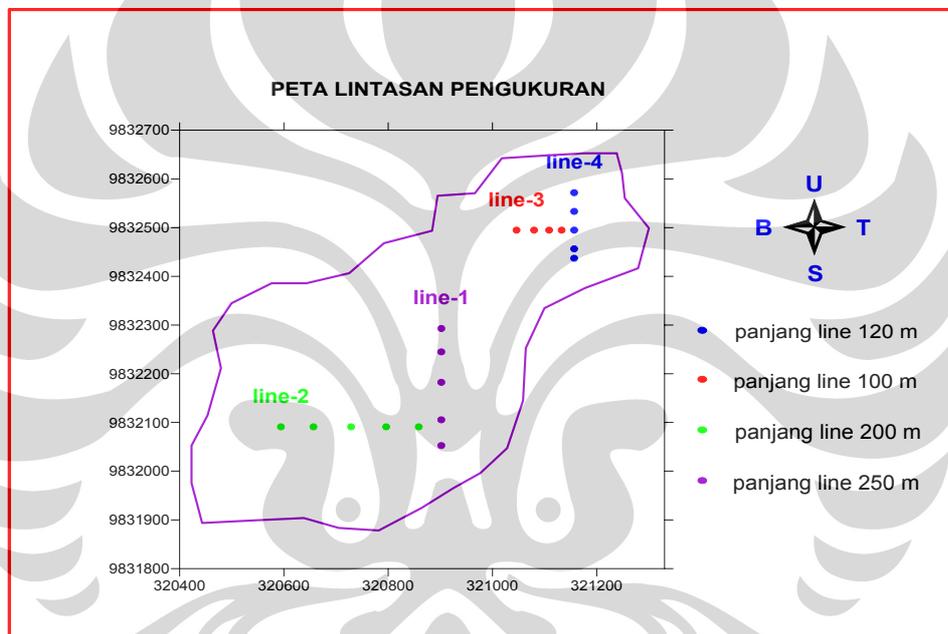
|          |                         |                     |
|----------|-------------------------|---------------------|
| top soil | resistive               | $\epsilon_r = 7$    |
| limonit  | moderately resistive    | $\epsilon_r = 10$   |
| saprolit | moderately conductivity | $\epsilon_r = 12.5$ |
| bedrock  | resistive               | $\epsilon_r = 8$    |

**Gambar 2.6.** Model geofisika endapan nikel laterit

## BAB III DATA DAN PENGOLAHAN DATA

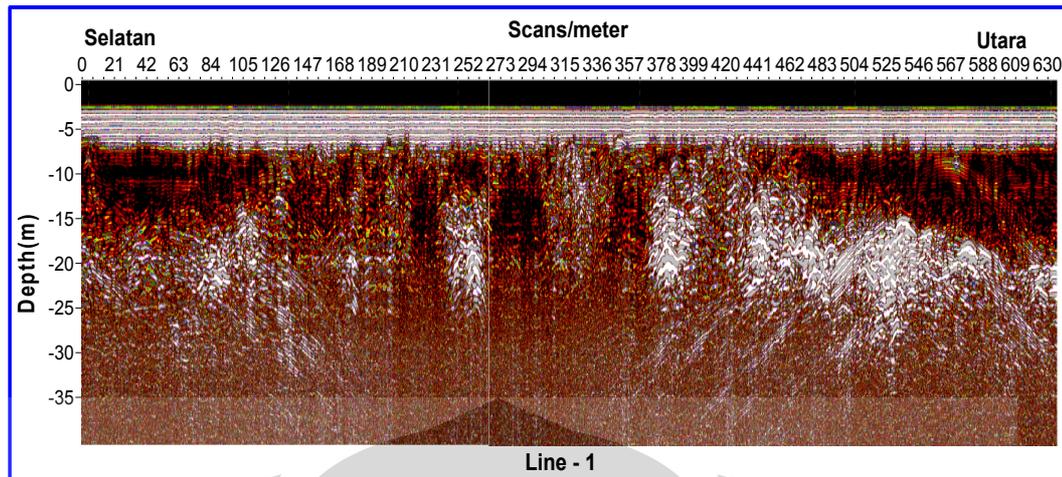
### 3.1 Data Lapangan

Dalam penulisan skripsi ini penulis menggunakan data GPR dari PT. Antam Tbk Unit Geomin yang merupakan hasil pengukuran di daerah “X”. Data terdiri dari 4 lintasan dengan panjang lintasan dan arah lintasan yang berbeda – beda. *Line – 1* dan *line – 4* berarah Selatan – Utara. *Line – 2* dan *line – 3* berarah Barat – Timur. Berikut adalah peta lintasan pengukuran.

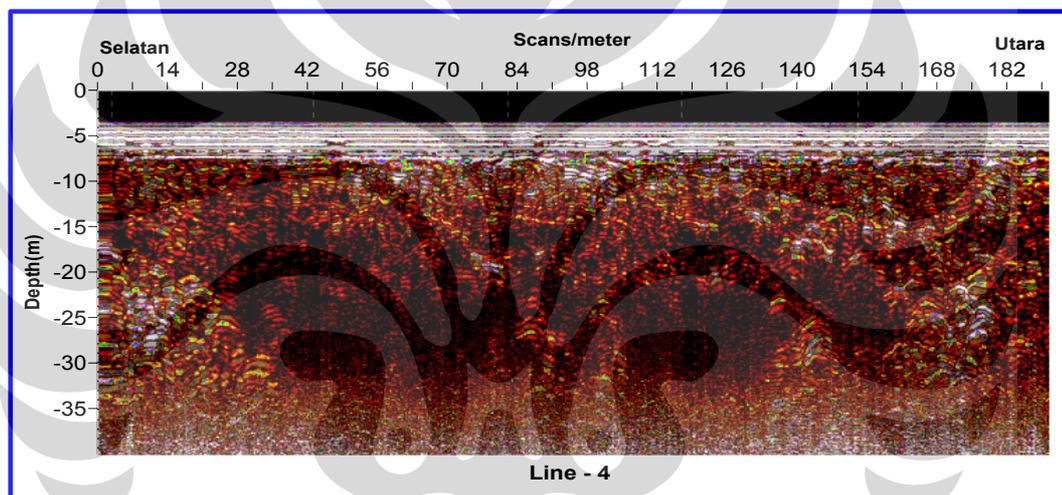


**Gambar 3.1.** Peta lintasan pengukuran

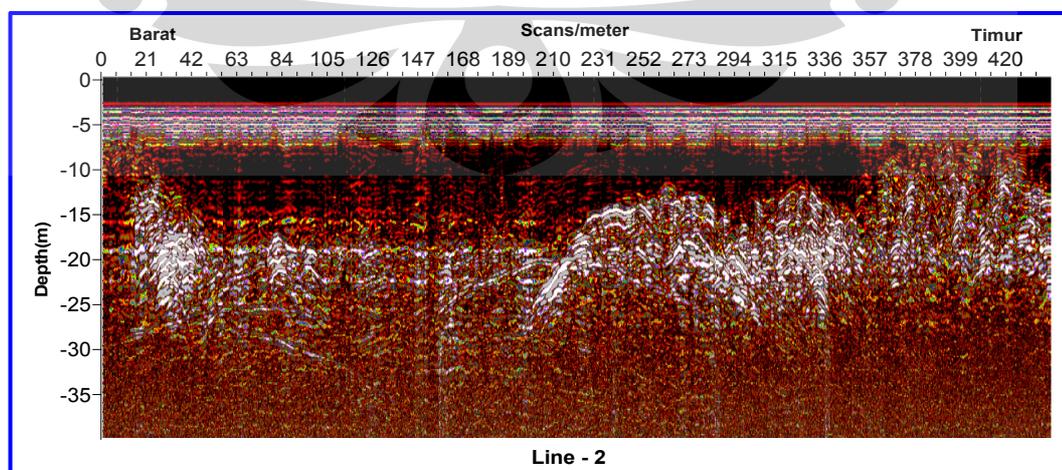
Pada proses akuisisi data, metode pengukuran yang digunakan adalah metode *Fixed T/R Offset Mode Continuous*. Metode ini adalah metode pengumpulan profil radar secara terus menerus/ berkesinambungan. Dimana antenna *transmitter* dan *receiver* di *set-up* dengan jarak yang tetap. Kemudian *transmitter* 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.



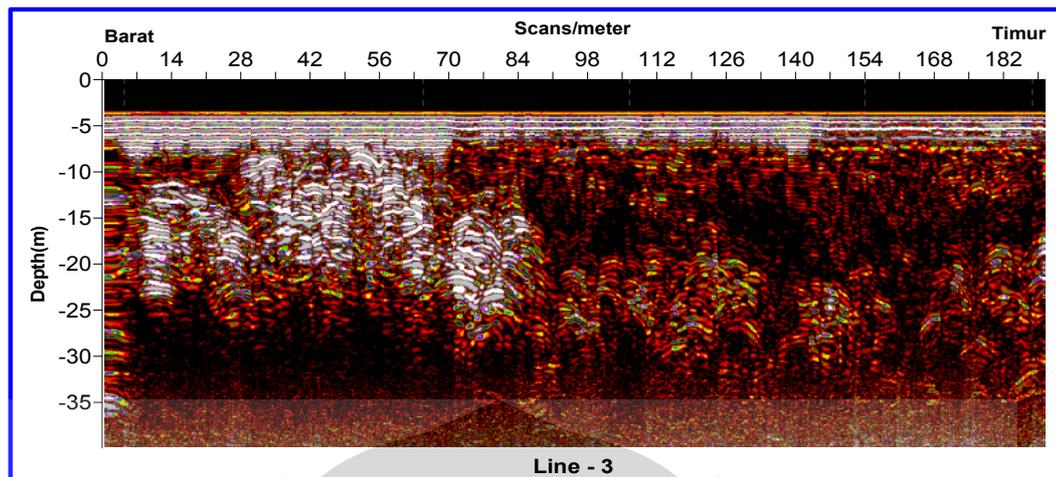
Gambar 3.2a. Data lapangan *line-1*



Gambar 3.2b. Data lapangan *line-4*



Gambar 3.2c. Data lapangan *line-2*



Gambar 3.2d. Data lapangan *line-3*

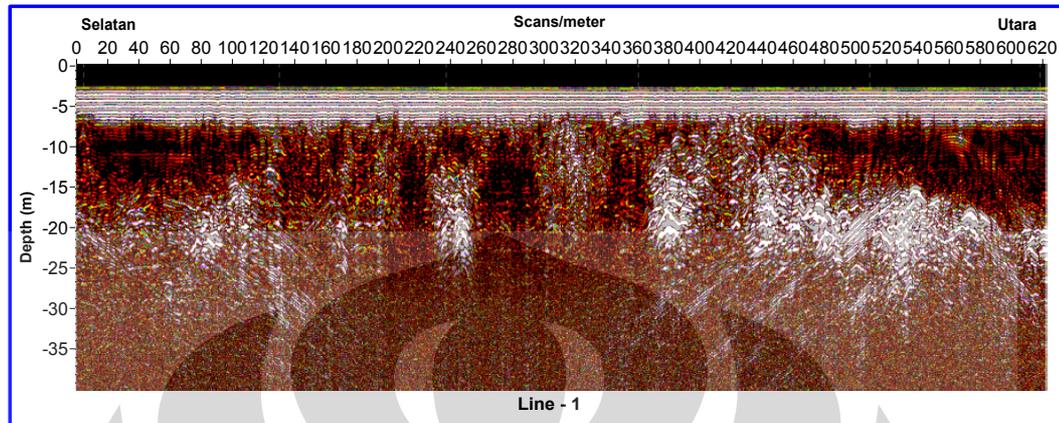
## 3.2 Pengolahan Data

### 3.2.1 Horizontal Scaling

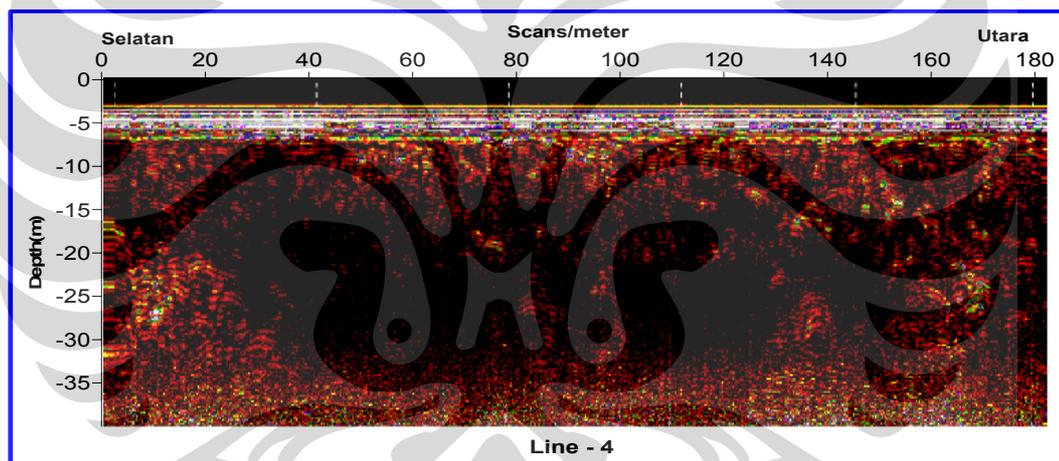
*Horizontal scaling* adalah suatu proses pengaturan skala horizontal. Proses ini merupakan tahapan yang pertama sekali dilakukan dalam pemrosesan data GPR dengan menggunakan *software* radan. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk mengatur skala horizontal untuk menampilkan bentuk hiperbola sebagai 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 3 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* 2 kali dimana hasilnya tidak menunjukkan adanya perbedaan yang jelas dengan data sebelum dilakukan proses tersebut. Apabila dalam data tidak ada sinyal refleksi yangn berulang pada satu titik tertentu, maka setelah dilakukan proses *skipping* dan *stacking* tidak akan terdapat perbedaan yang jelas dengan data sebelum

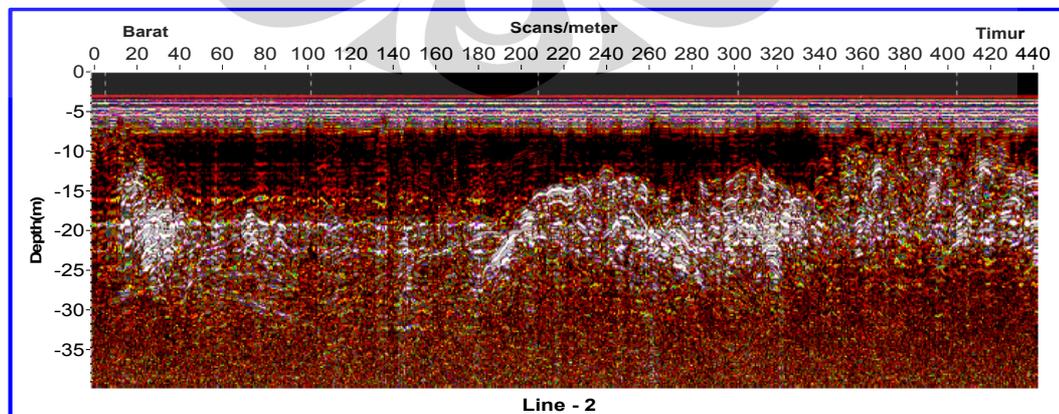
dilakukan proses tersebut. Berikut merupakan data lapangan dan data hasil proses *horizontal scaling*.



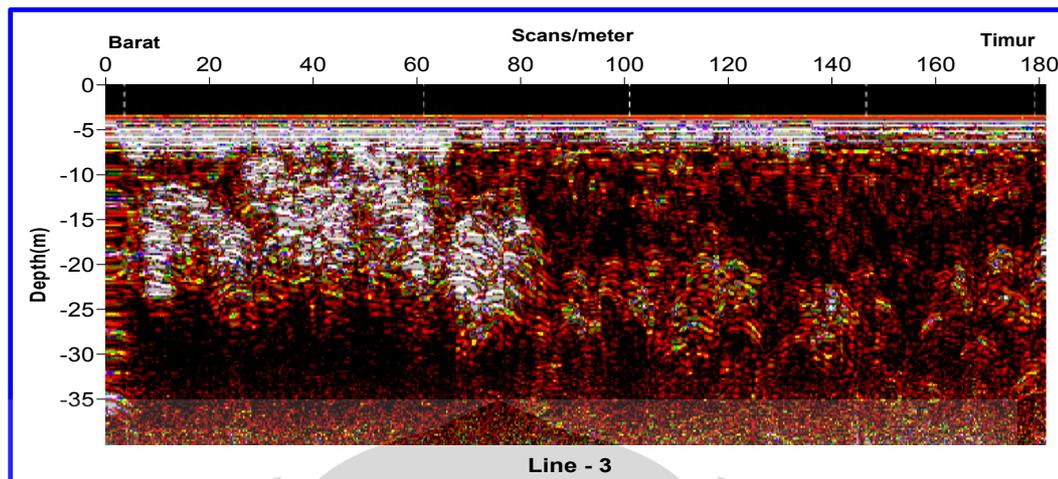
**Gambar 3.3a.** Data hasil proses *horizontal scaling line-1*



**Gambar 3.3b.** Data hasil proses *horizontal scaling line-4*



**Gambar 3.3c.** Data hasil proses *horizontal scaling line-2*



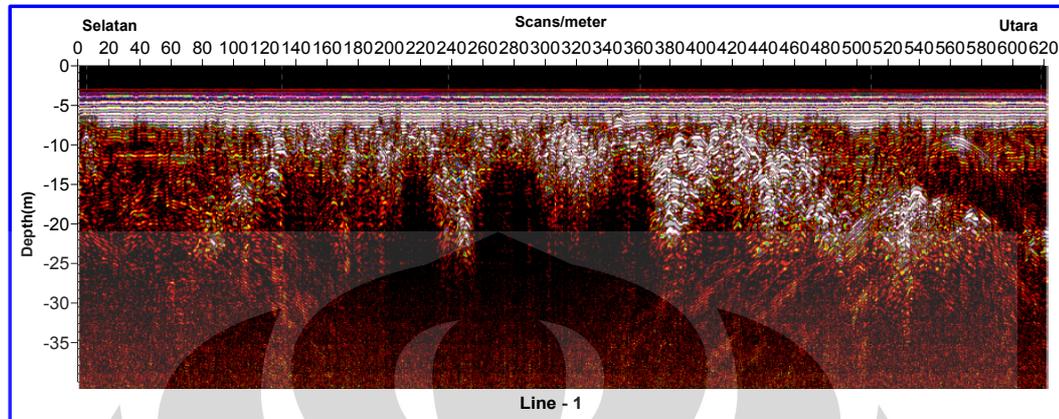
**Gambar 3.3d.** Data hasil proses *horizontal scaling line-3*

### 3.2.2 Penguatan Amplitudo

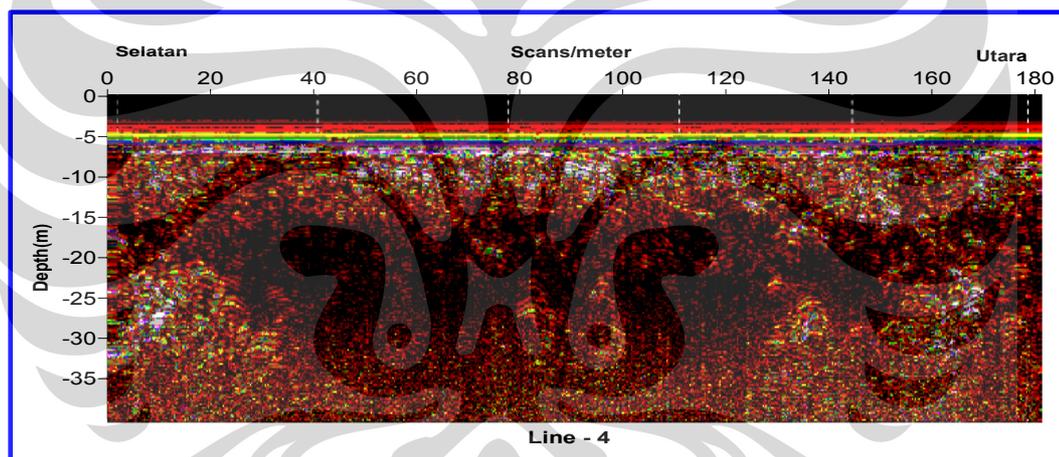
Penguatan amplitudo adalah suatu proses perubahan amplitudo. Proses ini dilakukan untuk memperkuat sinyal refleksi yang lemah yang diakibatkan oleh beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut diantaranya adalah sumber baterai yang lemah dan efek dari adanya absorpsi dan atenuasi pada lapisan batuan. Pada 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 2, 3, dan 4 kali. Hasil penguatan sebanyak 2 kali tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan data sebelum dilakukan penguatan. Hasil penguatan sebanyak 3 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 – 2, 3, dan 4 terlihat sinyal yang lemah yaitu pada zona yang konduktif semakin jelas. Sedangkan hasil penguatan sebanyak 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 –

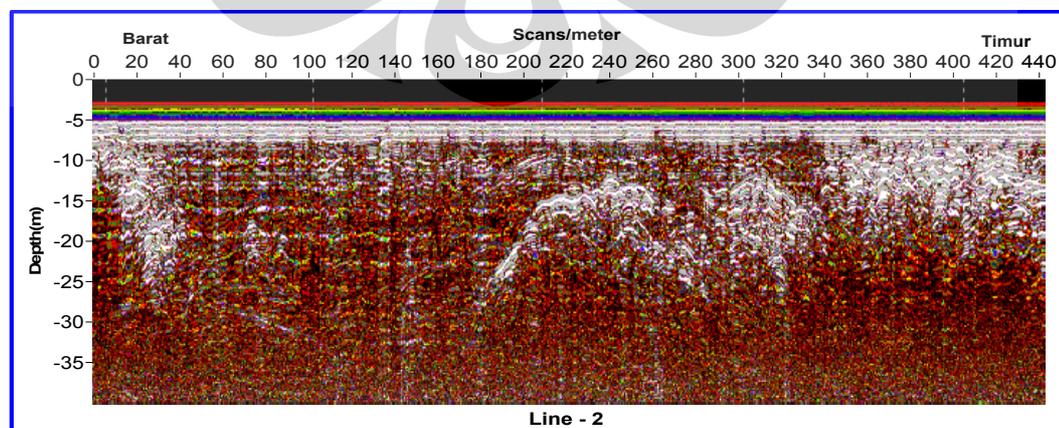
masing penguatan ini, maka penguatan yang dipilih adalah sebanyak 3 kali dengan hasil seperti di bawah ini.



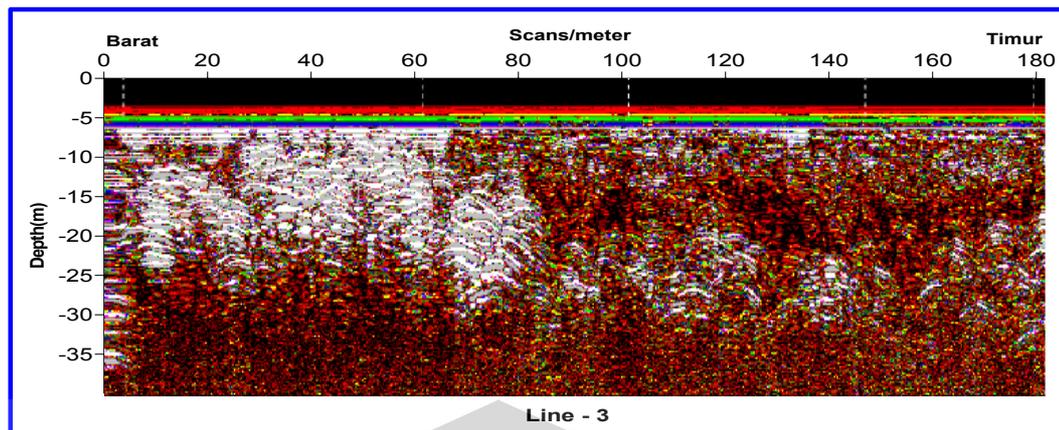
**Gambar 3.4a.** Data hasil proses penguatan amplitudo *line-1*



**Gambar 3.4b.** Data hasil proses penguatan amplitudo *line-4*



**Gambar 3.4c.** Data hasil proses penguatan amplitudo *line-2*

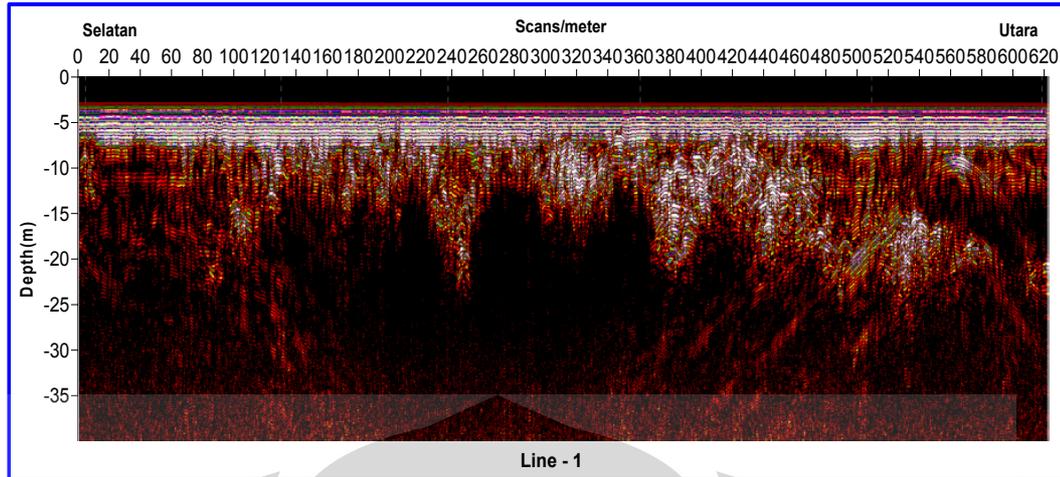


Gambar 3.4d. Data hasil proses penguatan amplitudo *line-3*

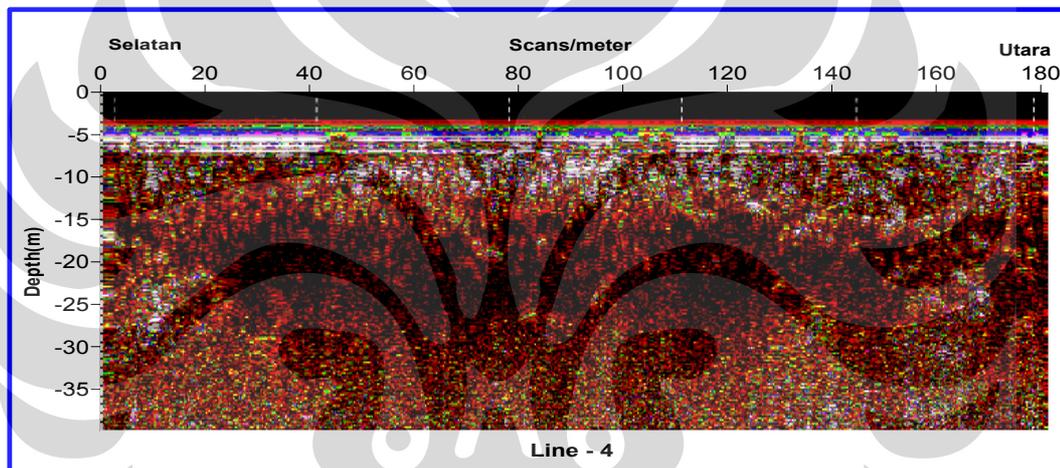
### 3.2.3 Filtering Data

*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.

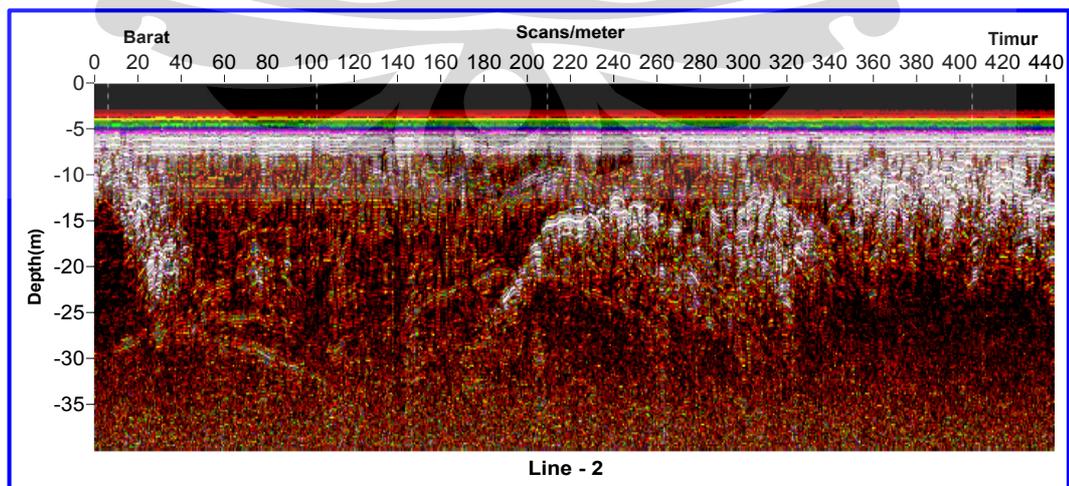
Dalam *filtering data* ini telah dilakukan ketiga filter tersebut. Mekanisme penggunaannya adalah pertama menggunakan *low pass filter* gelombang dengan frekuensi sebesar 80 MHz keatas terlihat berkurang. Sinyal ini penetrasinya dangkal dan diantaranya berasosiasi dengan gelombang langsung. Kemudian digunakan *high pass filter* sebesar 80 MHz kebawah. Sinyal dengan frekuensi 80 MHz kebawah yang penetrasinya lebih dalam menjadi hilang. Sehingga tidak dapat dilihat zona – zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan nikel 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.



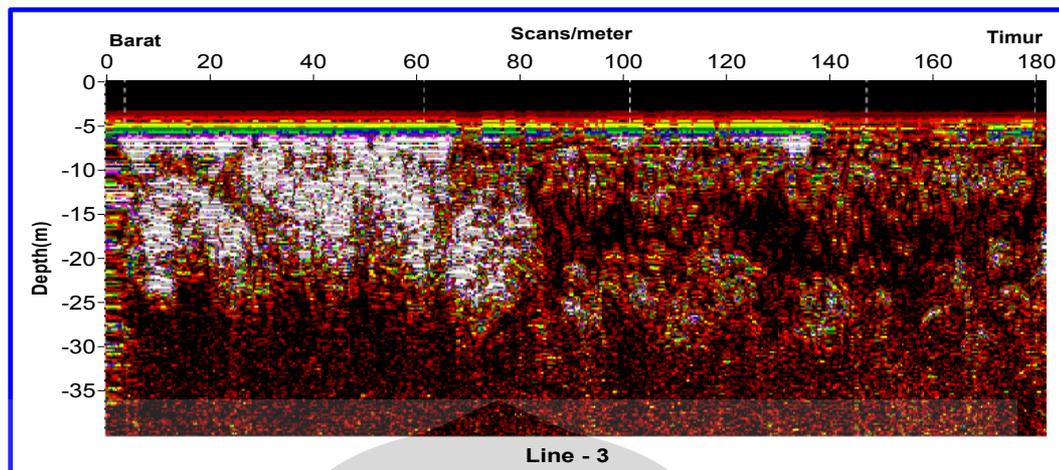
**Gambar 3.5a.** Data hasil proses *filtering* data *line-1*



**Gambar 3.5b.** Data hasil proses *filtering* data *line-4*



**Gambar 3.5c.** Data hasil proses *filtering* data *line-2*



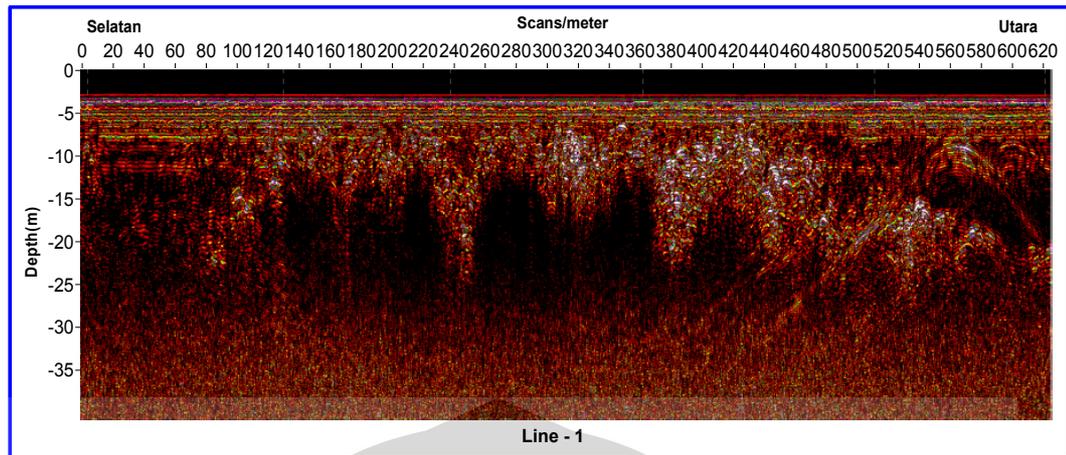
**Gambar 3.5d.** Data hasil proses *filtering* data *line-3*

### 3.2.4 Deconvolution

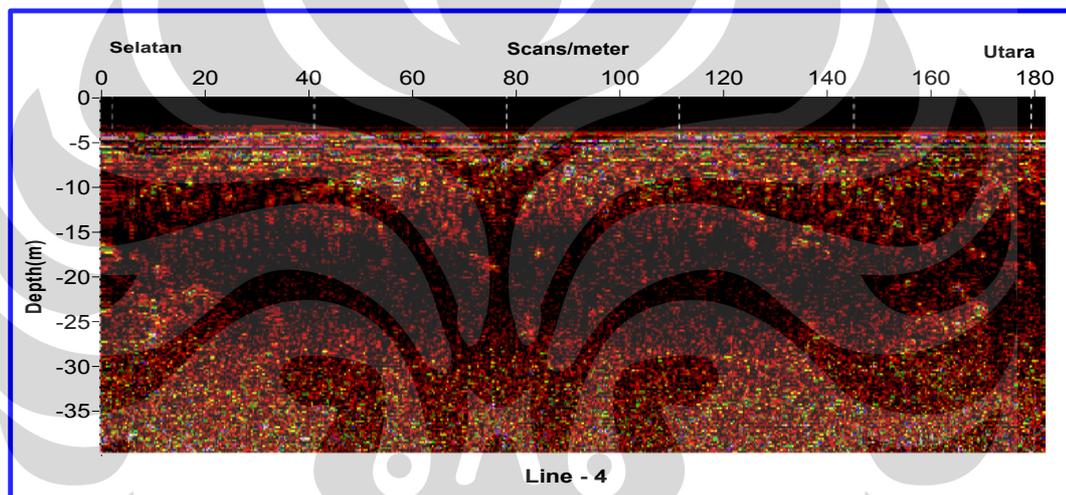
*Deconvolution* adalah proses peniadaan noise yang koheren. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan sinyal yang tidak kita inginkan seperti *multiple – multiple* yaitu sinyal refleksi dari lapisan tipis dan sinyal yang merupakan gelombang langsung yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya pada proses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

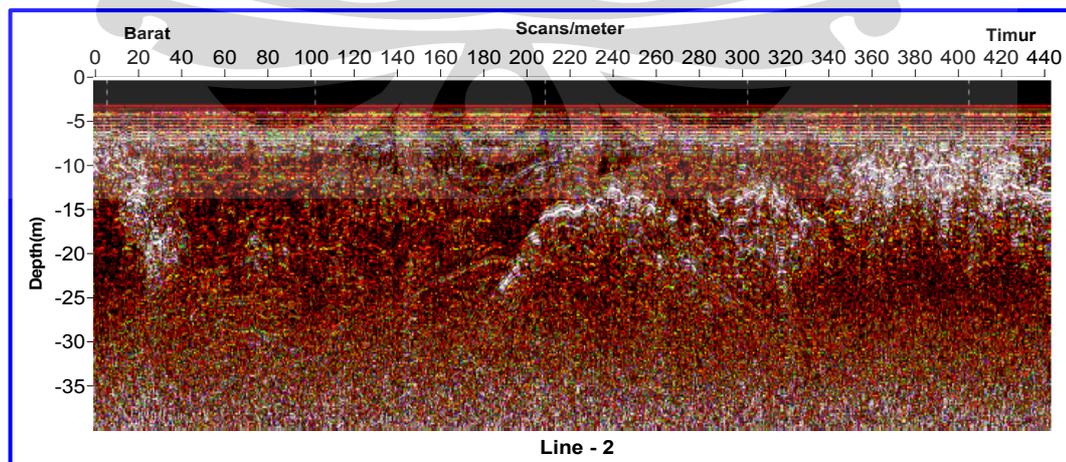
Setelah dilakukan proses ini terlihat perbedaan yang jelas dengan data sebelum dilakukan proses ini. Pada masing – masing line terlihat bahwa sinyal yang merupakan gelombang langsung menjadi hilang. Pada masing – masing line juga terlihat bahwa sinyal yang diinginkan semakin jelas sehingga bidang batas antar lapisan juga semakin jelas. Berikut merupakan data hasil proses *deconvolution*.



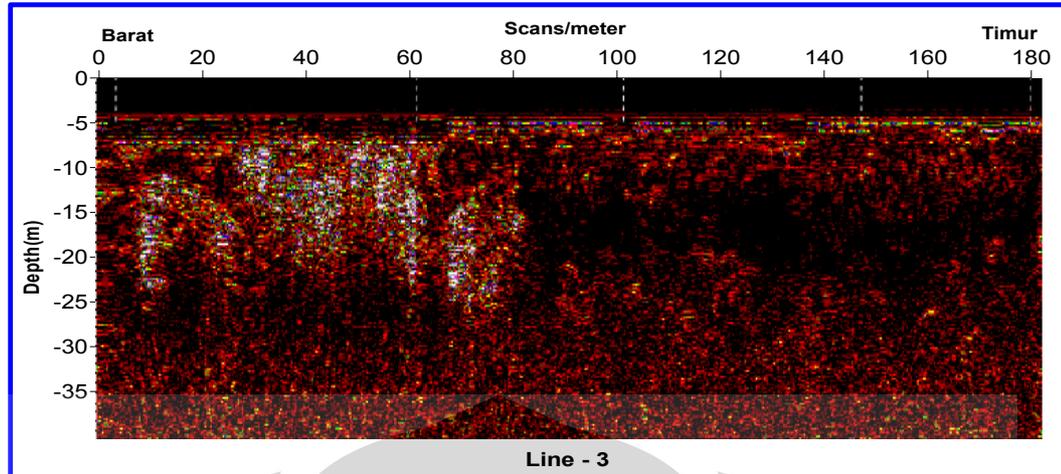
**Gambar 3.6a.** Data hasil proses *deconvolution line-1*



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



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

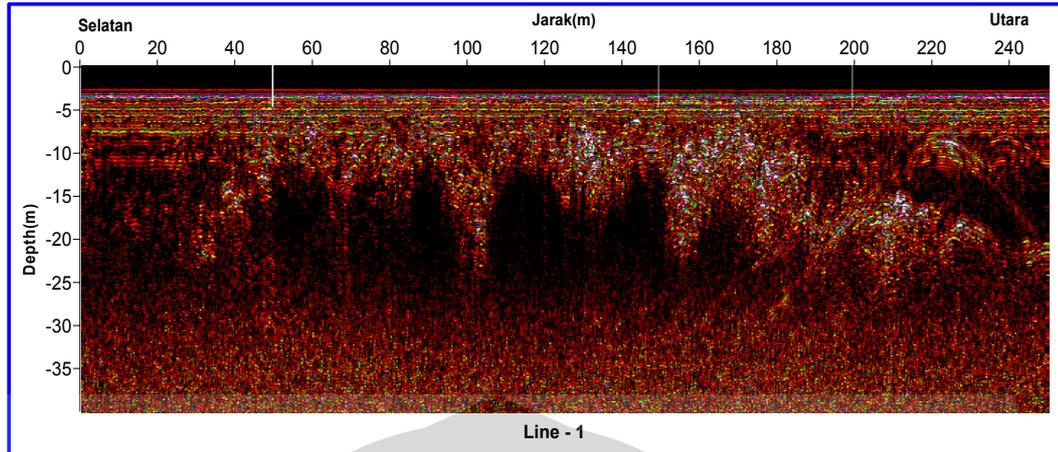


**Gambar 3.6d.** Data hasil proses *deconvolution line-3*

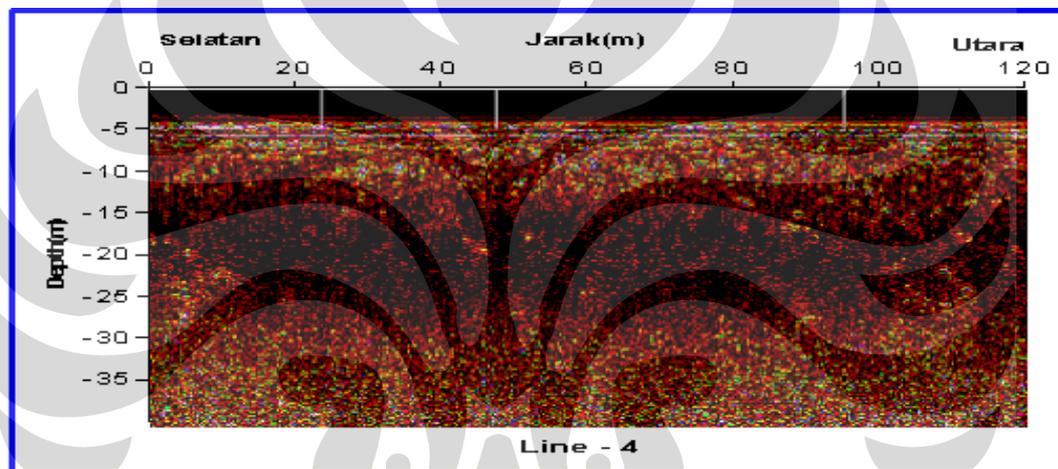
### 3.2.5 Distance Normalization

*Distance normalization* adalah proses normalisasi jarak. Proses ini dilakukan untuk mengubah data sesuai dengan panjang lintasan pengukuran. Sumbu horizontal data merupakan jumlah scans/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.

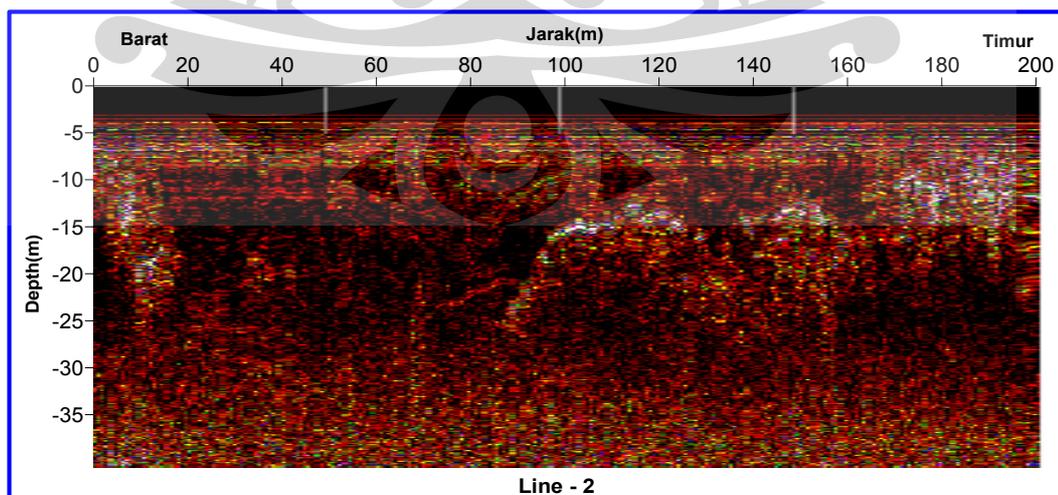
Setelah dilakukan proses ini bidang batas per lapisan tampak semakin jelas. Sumbu horizontal berubah menjadi jarak yang sesuai dengan panjang lintasan pengukuran. Pada masing – masing *line* juga terlihat bahwa bidang batas antar lapisan semakin jelas sehingga lebih mudah untuk mengetahui lapisan yang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



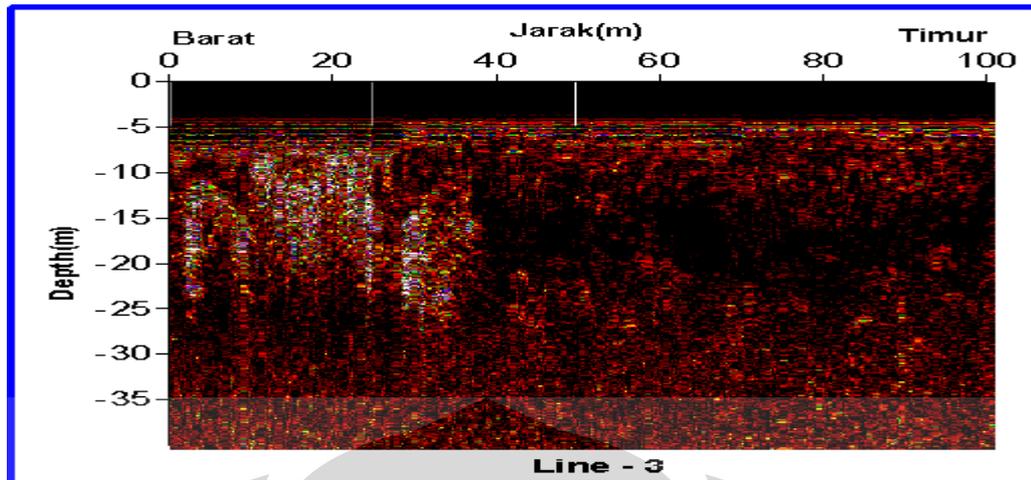
Gambar 3.7a. Data hasil proses *distance normalization line-1*



Gambar 3.7b. Data hasil proses *distance normalization line-4*



Gambar 3.7c. Data hasil proses *distance normalization line-2*

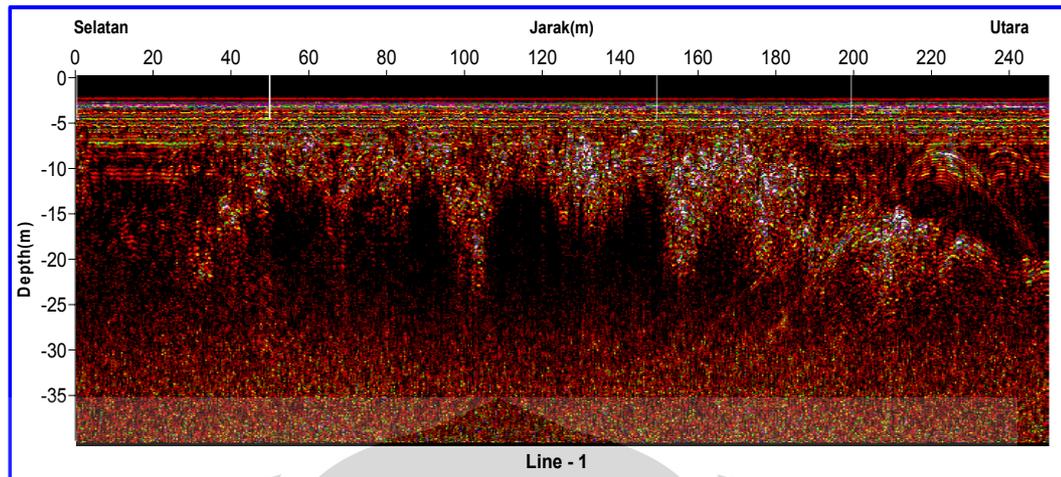


Gambar 3.7d. Data hasil proses *distance normalization line-3*

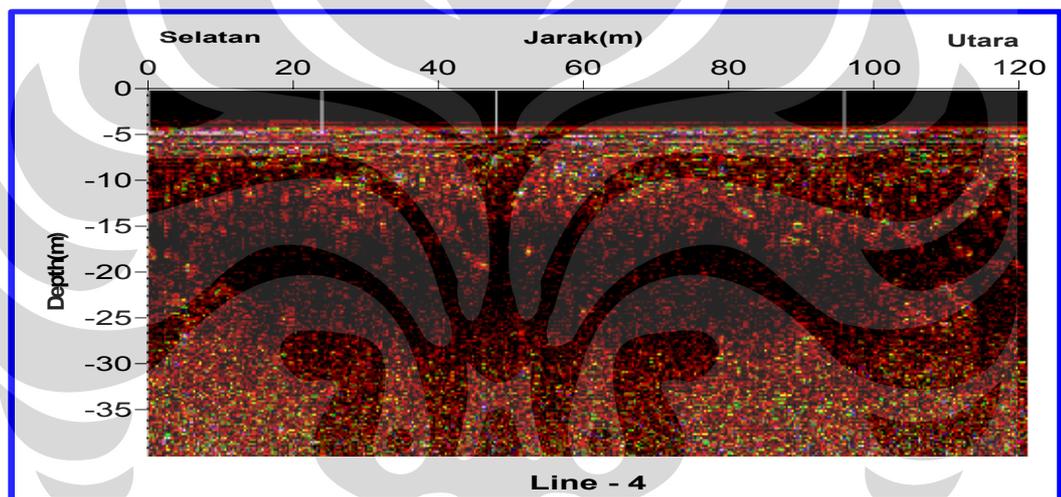
### 3.2.6 Koreksi Statik

Koreksi statik adalah proses pengkoreksian posisi antena *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.

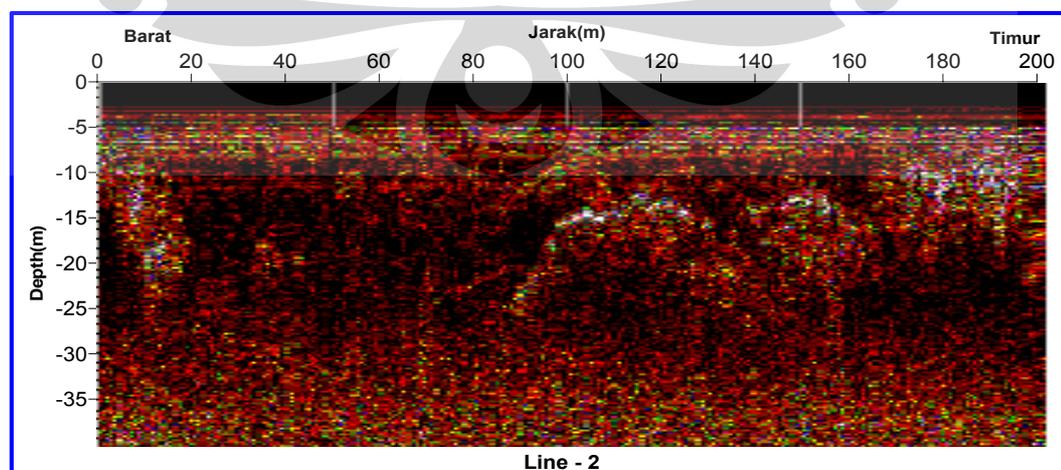
Dalam proses ini dilakukan dengan koreksi statik otomatis yaitu koreksi posisi antara transmitter dan receiver. Setelah dilakukan proses ini terlihat tidak ada perbedaan dengan data sebelum dilakukan koreksi statik. Hal ini berarti bahwa tidak ada perbedaan ketinggian antara *transmitter* dengan *receiver*.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



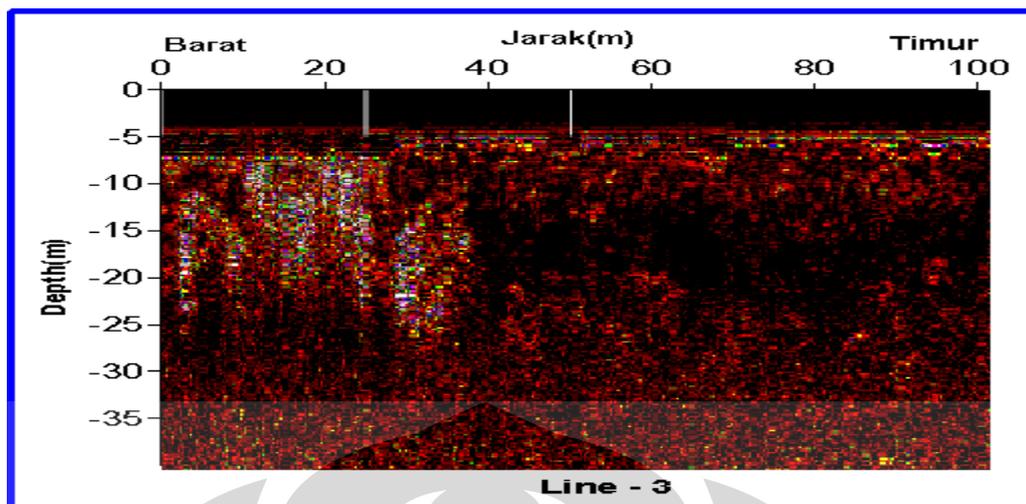
Gambar 3.8a. Data hasil proses koreksi statistik *line-1*



Gambar 3.8b. Data hasil proses koreksi statistik *line-4*



Gambar 3.8c. Data hasil proses koreksi statistik *line-2*

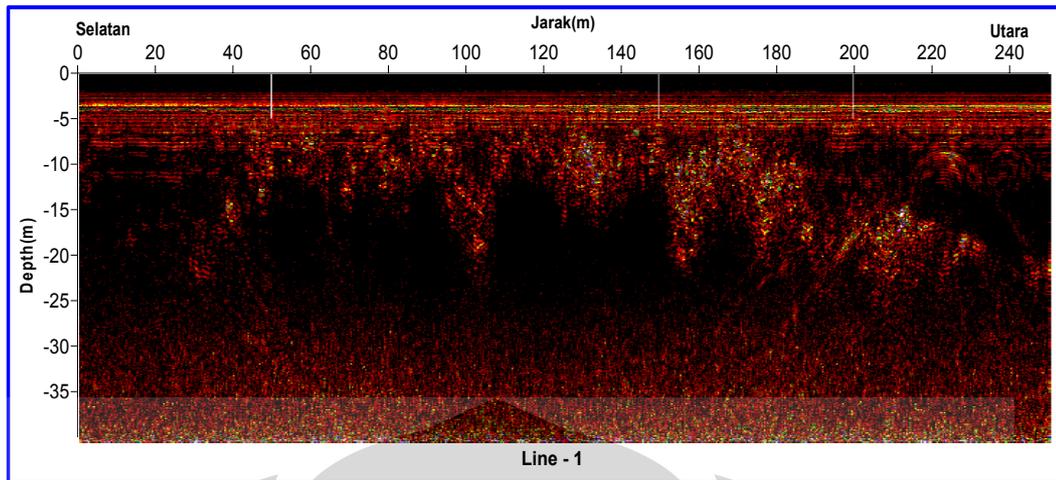


**Gambar 3.8d.** Data hasil proses koreksi statik *line-3*

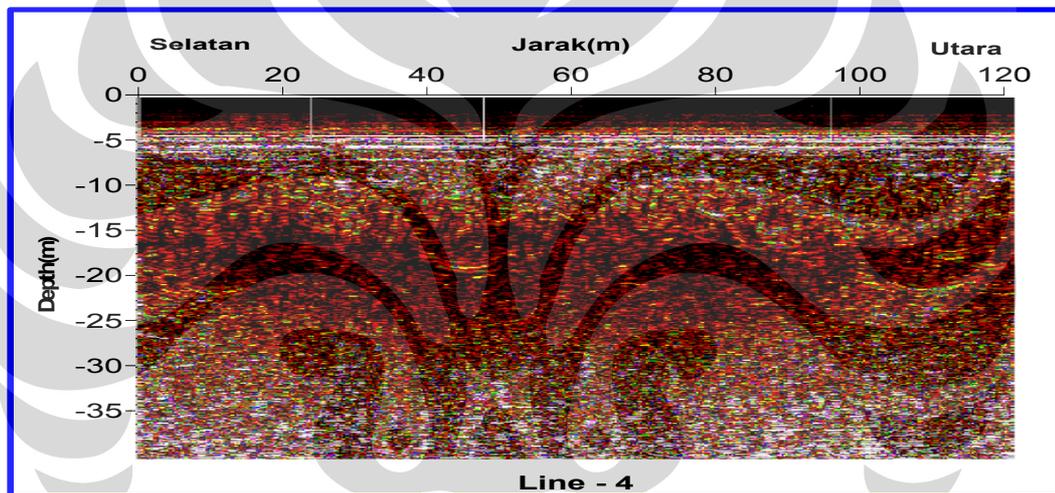
### 3.2.7 Migrasi

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.

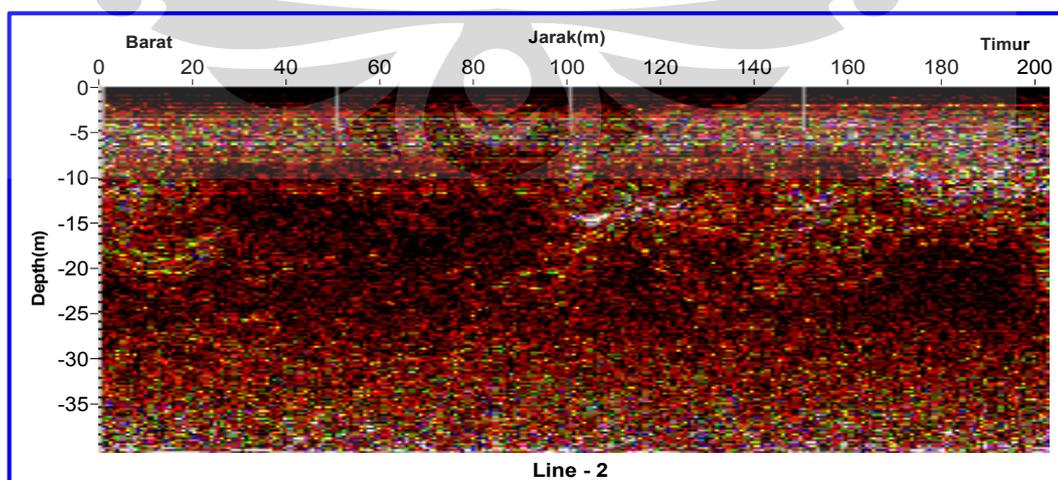
Metode migrasi Kirchhoff ini mempunyai kelebihan yaitu mampu menangani kemiringan yang sangat curam, tetapi ada juga kelemahannya yaitu keterbatasan terjadi sewaktu kecepatan berubah secara lateral. Setelah dilakukan proses ini terlihat bahwa data yang dihasilkan memiliki kualitas yang kurang baik. Hal 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.



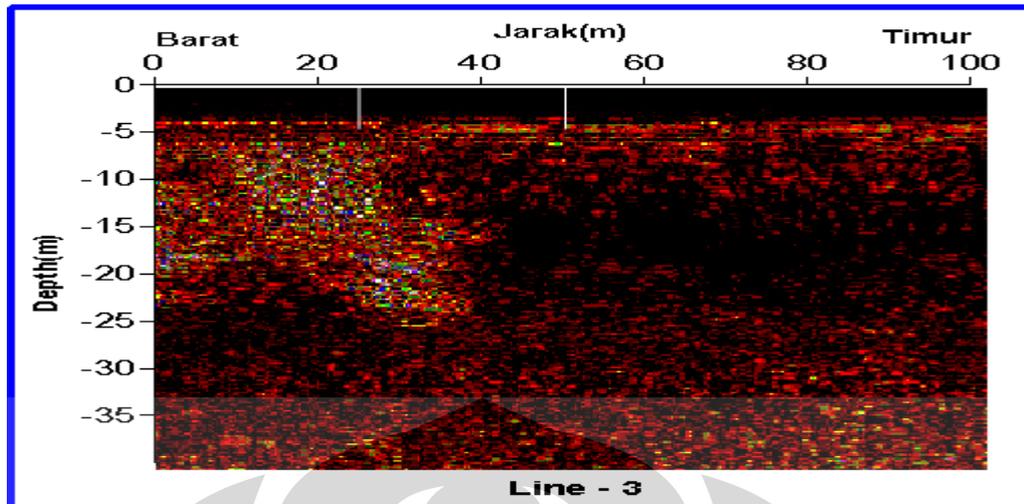
Gambar 3.9a. Data hasil proses migrasi *line-1*



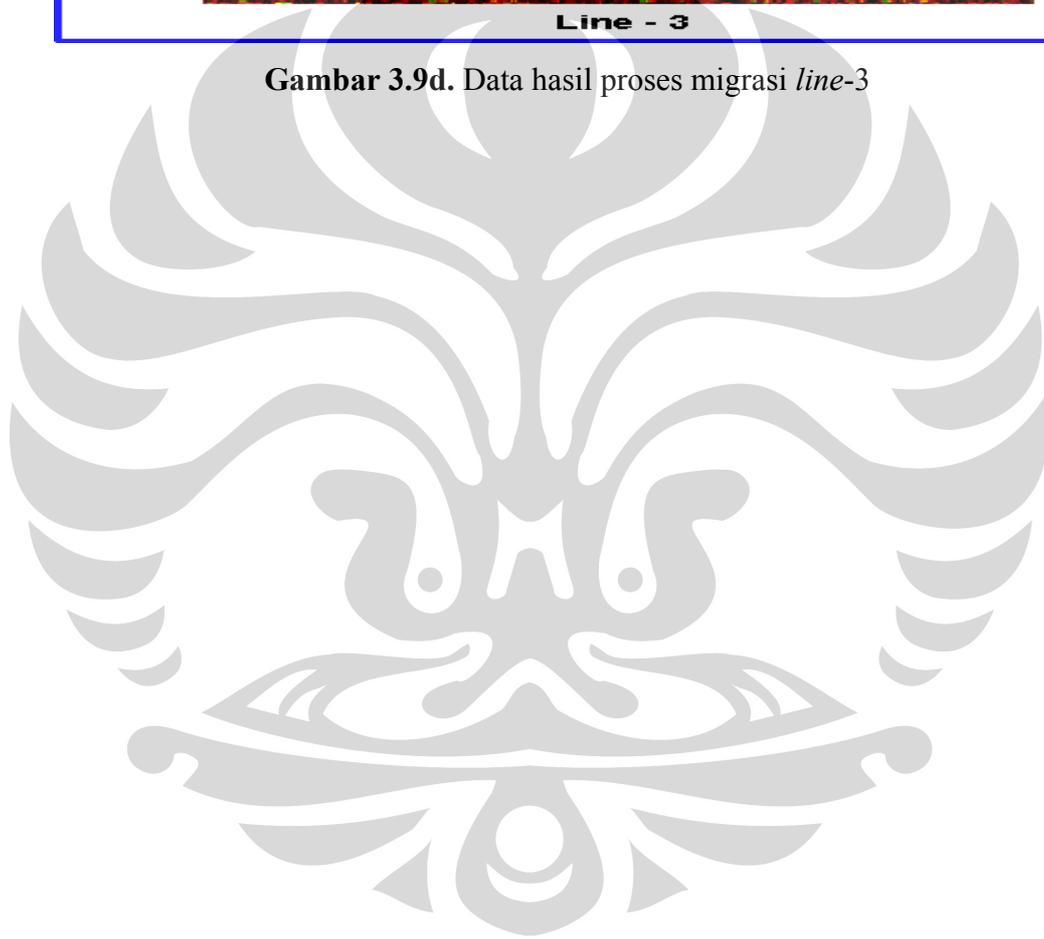
Gambar 3.9b. Data hasil proses migrasi *line-4*



Gambar 3.9c. Data hasil proses migrasi *line-2*



Gambar 3.9d. Data hasil proses migrasi *line-3*



## **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. Dan ambiguitas hasil interpretasi data sangat besar peluangnya. Dengan adanya data pendukung ini maka hasil interpretasi data geofisika akan semakin tepat. Dalam studi ini data pendukung yang digunakan adalah data geologi dan data sumur bor.

##### **4.1.1 Data Geologi**

Morfologi daerah penelitian merupakan satuan morfologi perbukitan gelombang. Satuan morfologi perbukitan gelombang ini mempunyai kisaran ketinggian antara 0 – 500 m dengan sudut kemiringan lereng 5 - 20°. Secara stratigrafi daerah penelitian termasuk dalam formasi obi. Formasi ini didominasi oleh batuan ultrabasa yang telah berubah menjadi serpentinisasi dengan tingkatan bervariasi dan berpotensi baik untuk endapan nikel laterit.

Struktur yang berkembang di daerah penelitian ialah patahan, lipatan dan kekar. Struktur patahan umumnya berarah Barat Laut – Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya. Struktur kekar disini umumnya dijumpai pada batuan ultrabasa. Dengan adanya patahan, lipatan, dan kekar diharapkan terbentuklah endapan nikel laterit yang intensif dan cukup luas.

Endapan nikel laterit terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik seperti peridotit yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur yang mudah larut seperti Ni, Co, dan Fe. Air hujan yang mengandung CO<sub>2</sub> dari udara meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah sambil melindih mineral primer yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksin. Air tanah meresap secara perlahan dari atas ke bawah sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit kemudian mengalir secara

lateral dan selanjutnya lebih didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal. Unsur-unsur yang terbawa bersama larutan seperti magnesium dan silikon akan mengalami pengendapan yang memungkinkan terbentuknya mineral baru.

Larutan yang mengandung nikel yang merupakan hasil dari pengendapan unsur-unsur yang mudah larut akan masuk ke zona saprolit. Pada zona ini batuan asal ultramafik akan berakumulasi dengan unsur-unsur yang mengandung nikel dan akan mengendap kembali pada rekahan-rekahan melalui transportasi oleh air tanah yang memasuki rekahan-rekahan tersebut sehingga zona saprolit ini akan menjadi jenuh dengan unsur nikel. Unsur-unsur yang tertinggal di zona limonit seperti besi, mangan, kobalt, dan juga nikel akan mengalami pelapukan lebih lambat akibat kurangnya konsentrasi air tanah pada zona ini sehingga kandungan nikel pada zona limonit akan lebih sedikit dibandingkan kandungan nikel pada zona saprolit.



**Gambar 4.1.** Model perlapisan zona endapan nikel laterit

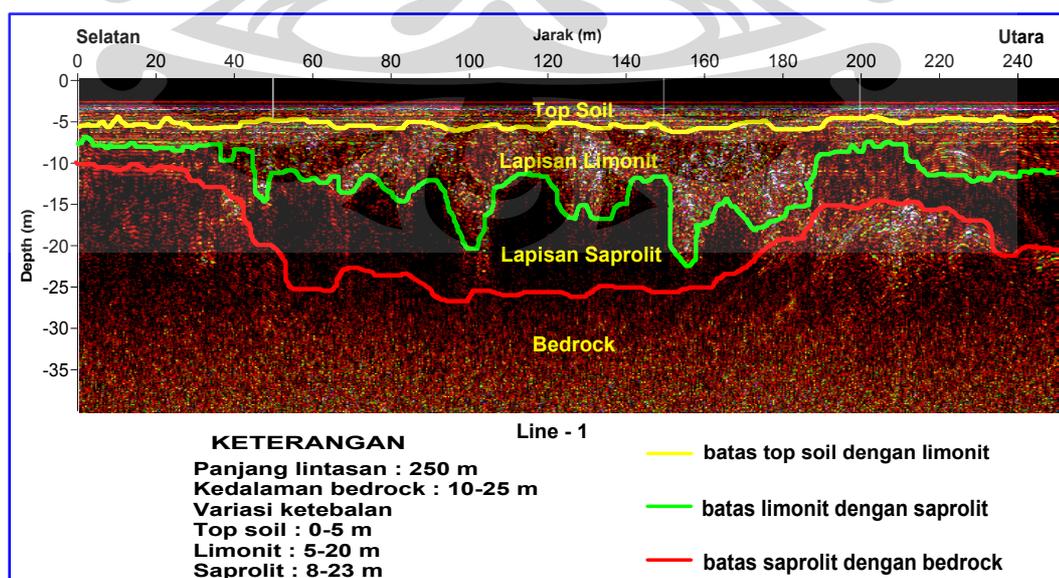
#### 4.1.2 Data GPR

Tujuan dilaksanakannya pengukuran georadar ini adalah untuk mengetahui penyebaran endapan nikel laterit dan bedrock 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 nikel laterit mulai dari atas ke bawah umumnya terdiri dari 4 lapisan yaitu lapisan top soil, lapisan laterit yang meliputi lapisan limonit dan saprolit, serta bedrock. Ke-empat lapisan ini memiliki konstanta dielektrik dan konduktivitas yang berbeda – beda. 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 - 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 4 lapisan yang disebut sebagai penampang endapan nikel laterit yaitu top soil, lapisan limonit, lapisan saprolit, dan bedrock. Ke-empat lapisan ini dibatasi oleh 3 reflektor yang ditandai dengan garis berwarna kuning yaitu batas antara top soil dengan lapisan limonit, garis berwarna hijau yaitu batas antara lapisan limonit dengan lapisan saprolit, dan garis berwarna merah yaitu batas antara lapisan saprolit dengan bedrock.



Gambar 4.2. 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. Pada umumnya konstanta dielektrik yang digunakan dalam eksplorasi nikel untuk lapisan top soil adalah 7 (Francke and Nobes, 2000). Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 115 m/ $\mu$ s. Dari hasil interpretasi, kedalaman lapisan ini diperkirakan 0-5 m.

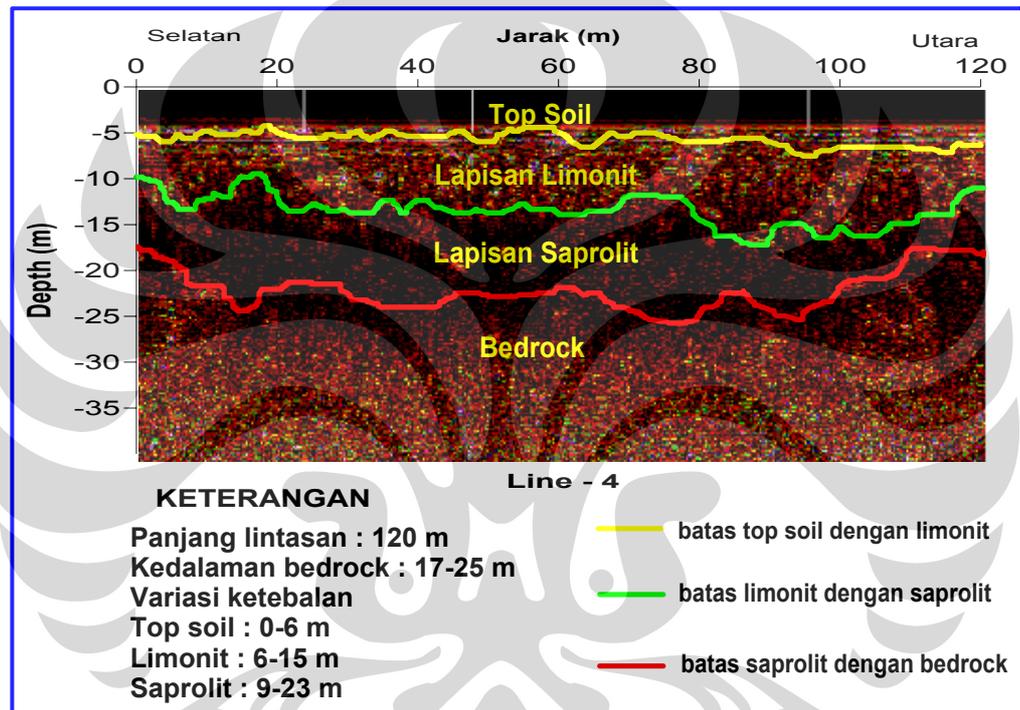
Lapisan limonit merupakan lapisan yang resistif dengan kandungan air tanah yang sedikit. Hal ini menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini sangat kuat karena absorpsi energi gelombang radarnya kecil. Pada lapisan limonit konstanta dielektrik yang digunakan adalah 10 (Francke and Nobes, 2000). Kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 95 m/ $\mu$ s. Kedalaman lapisan ini diperkirakan sekitar 5-20 m.

Lapisan saprolit merupakan lapisan yang konduktif dan kandungan air tanah yang relatif banyak dibandingkan lapisan yang lain menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini lemah karena absorpsi energi gelombang radarnya lebih besar. Pada lapisan saprolit konstanta dielektrik yang digunakan adalah 12,5 (Francke and Nobes, 2000). Kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 85 m/ $\mu$ s. Kedalaman lapisan ini diperkirakan sekitar 8-23 m.

Lapisan bedrock merupakan lapisan yang lebih resistif dibandingkan dengan lapisan saprolit dan kandungan air tanah yang sangat sedikit menyebabkan amplitudo sinyal refleksi pada lapisan ini lebih kuat karena absorpsi energi gelombang radarnya kecil. Pada lapisan bedrock konstanta dielektrik yang digunakan adalah 8 (Francke and Nobes, 2000). Kecepatan perambatan gelombang pada lapisan ini adalah sekitar 106 m/ $\mu$ s. Kedalaman lapisan ini diperkirakan sekitar 10-25 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*

| LAPISAN  | $\epsilon$ | $v(m/\mu s)$ | Depth(m) |
|----------|------------|--------------|----------|
| Top soil | 7          | 115          | 0-5      |
| Limonit  | 10         | 95           | 5-20     |
| Saprolit | 12.5       | 85           | 8-23     |
| Bedrock  | 8          | 106          | 10-25    |

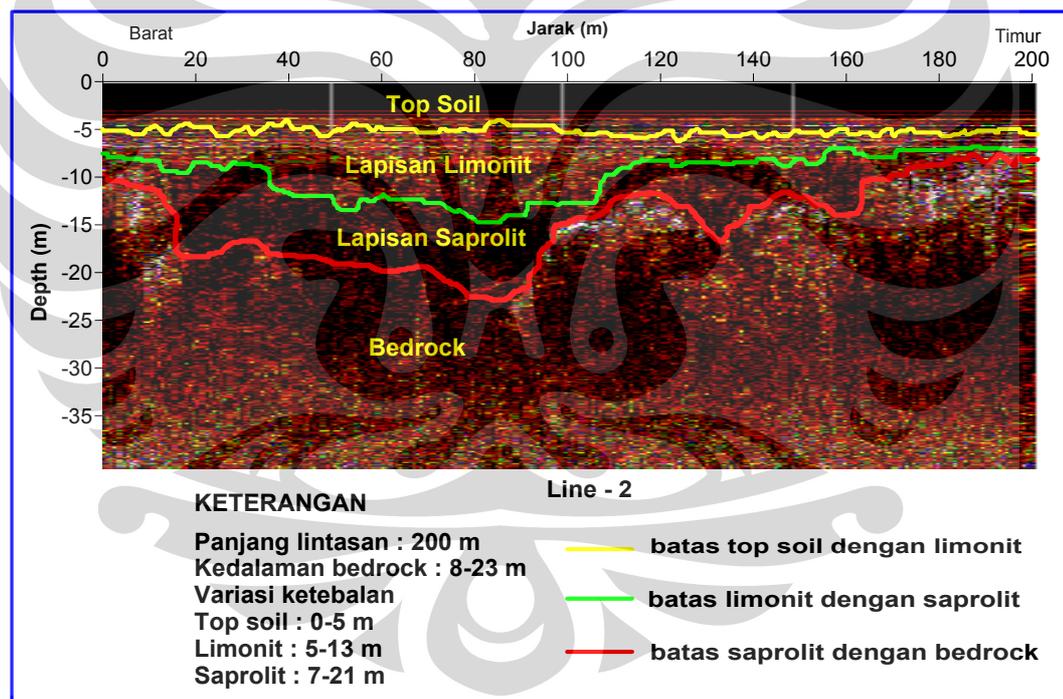
**Gambar 4.3.** Hasil pemodelan data *line - 4*

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 limonit adalah 10, untuk lapisan saprolit adalah 12,5, dan untuk lapisan bedrock adalah 8. Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan top soil adalah sekitar 115 m/ $\mu$ s, pada lapisan limonit adalah sekitar 95 m/ $\mu$ s, pada lapisan saprolit adalah sekitar 85 m/ $\mu$ s, dan pada lapisan bedrock adalah sekitar 106 m/ $\mu$ s. Dari hasil interpretasi kedalaman lapisan top soil diperkirakan 0-6 m, kedalaman lapisan limonit diperkirakan sekitar 6-15 m, kedalaman lapisan saprolit

diperkirakan sekitar 9-23 m, dan kedalaman lapisan bedrock diperkirakan sekitar 17-25 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> | $\epsilon$ | $v(m/\mu s)$ | <i>Depth(m)</i> |
|----------------|------------|--------------|-----------------|
| Top soil       | 7          | 115          | 0-6             |
| Limonit        | 10         | 95           | 6-15            |
| Saprolit       | 12.5       | 85           | 9-23            |
| Bedrock        | 8          | 106          | 17-25           |



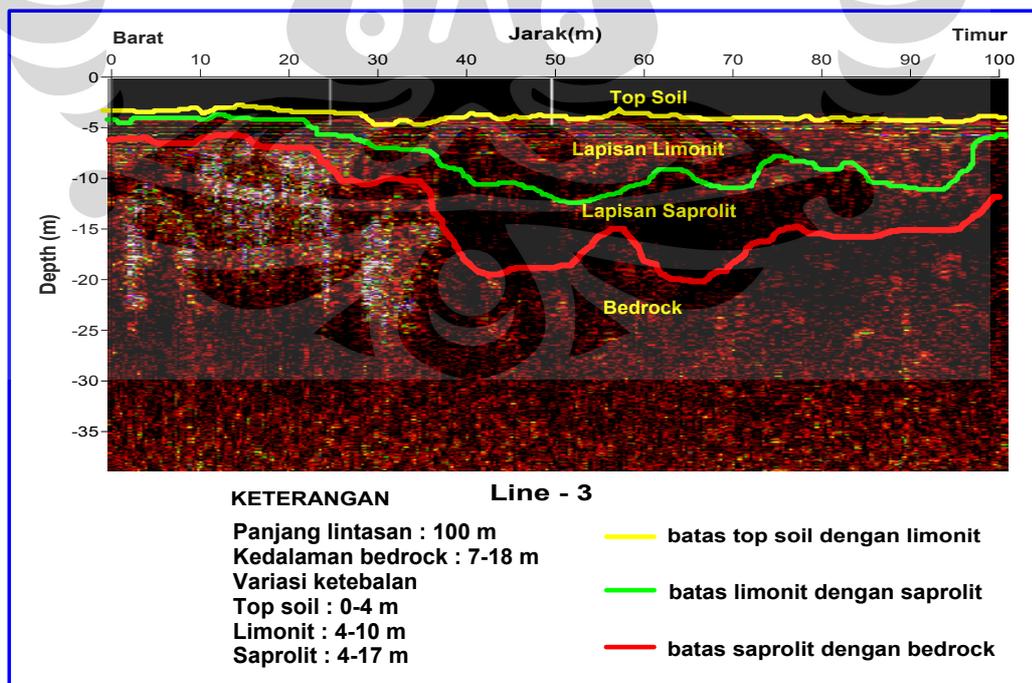
**Gambar 4.4.** Hasil pemodelan data *line* – 2

Untuk *line* – 2 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 limonit adalah 10, untuk lapisan saprolit adalah 12,5, dan untuk lapisan bedrock

adalah 8. Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan top soil adalah sekitar 115 m/μs, pada lapisan limonit adalah sekitar 95 m/μs, pada lapisan saprolit adalah sekitar 85 m/μs, dan pada lapisan bedrock adalah sekitar 106 m/μs. Dari hasil interpretasi kedalaman lapisan top soil diperkirakan 0-5 m, kedalaman lapisan limonit diperkirakan sekitar 5-13 m, kedalaman lapisan saprolit diperkirakan sekitar 7-21 m, dan kedalaman lapisan bedrock diperkirakan sekitar 8-23 m. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 2 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* - 2

| <i>LAPISAN</i> | $\epsilon$ | $v(m/\mu s)$ | <i>Depth(m)</i> |
|----------------|------------|--------------|-----------------|
| Top soil       | 7          | 115          | 0-5             |
| Limonit        | 10         | 95           | 5-13            |
| Saprolit       | 12.5       | 85           | 7-21            |
| Bedrock        | 8          | 106          | 8-23            |



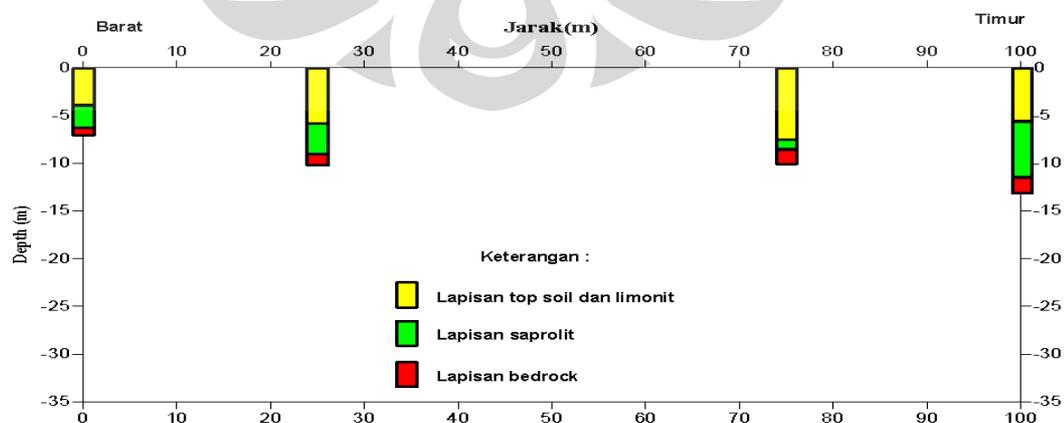
**Gambar 4.5.** Hasil pemodelan data *line* – 3

Untuk *line* – 3 interpretasi data dilakukan dengan menggunakan nilai konstanta dielektrik lapisan batuan yang sama dengan *line* – 1, *line* – 2, dan *line* – 4. Konstanta dielektrik yang digunakan untuk lapisan top soil adalah 7, untuk lapisan limonit adalah 10, untuk lapisan saprolit adalah 12,5, dan untuk lapisan bedrock adalah 8. Dari besaran ini didapatkan kecepatan perambatan gelombang radar pada lapisan top soil adalah sekitar 115 m/ $\mu$ s, pada lapisan limonit adalah sekitar 95 m/ $\mu$ s, pada lapisan saprolit adalah sekitar 85 m/ $\mu$ s, dan pada lapisan bedrock adalah sekitar 106 m/ $\mu$ s. Dari hasil interpretasi kedalaman lapisan top soil diperkirakan 0-4 m, kedalaman lapisan limonit diperkirakan sekitar 4-10 m, kedalaman lapisan saprolit diperkirakan sekitar 4-17 m, dan kedalaman lapisan bedrock diperkirakan sekitar 7-18 m. Hasil pemodelan penampang data GPR *line* – 3 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* - 3

| <i>LAPISAN</i> | $\epsilon$ | $v(m/\mu s)$ | <i>Depth(m)</i> |
|----------------|------------|--------------|-----------------|
| Top soil       | 7          | 115          | 0-4             |
| Limonit        | 10         | 95           | 4-10            |
| Saprolit       | 12.5       | 85           | 4-17            |
| Bedrock        | 8          | 106          | 7-18            |

#### 4.1.3 Data Sumur Bor



**Gambar 4.6.** Data sumur bor *line* – 3

Data sumur bor ini merupakan data sumur bor dari line – 3. Terdapat 4 sumur bor yaitu pada titik 0, 25, 75, dan 100 m. Garis berwarna kuning menunjukkan lapisan top soil dan lapisan limonit, garis berwarna hijau menunjukkan lapisan saprolit, dan garis berwarna merah menunjukkan lapisan bedrock.

Pada sumur bor di titik 0 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-4 m, kedalaman lapisan saprolit adalah 4-7 m, dan kedalaman bedrock adalah 7 m. Pada sumur bor di titik 25 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-6 m, kedalaman lapisan saprolit adalah 6-10 m, dan kedalaman bedrock adalah 10 m. Pada sumur bor di titik 75 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-8 m, kedalaman lapisan saprolit adalah 8-9 m, dan kedalaman bedrock adalah 9 m. Pada sumur bor di titik 100 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-6 m, kedalaman lapisan saprolit adalah 6-12 m, dan kedalaman bedrock adalah 12 m.

#### **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 nikel laterit yaitu top soil, lapisan laterit yang meliputi lapisan limonit dan lapisan saprolit, dan bedrock. 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 nikel laterit terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik seperti basalt, piroksenit, dan serpentinit. Dari data geologi regional menyebutkan daerah eksplorasi secara regional didominasi oleh kelompok batuan vulkanik, berupa andesit, diorite dan batuan ultrabasa berupa basalt, gabro, piroksenit dan serpentinit. Berdasarkan data geologi regional ini hubungannya dengan batuan dasar pembentukan endapan nikel laterit dapat dikatakan bahwa di daerah penelitian terdapat endapan nikel laterit.

Dari hasil interpretasi data GPR yang dilakukan telah diketahui zona – zona yang berhubungan dengan endapan nikel laterit yaitu top soil, lapisan limonit, lapisan saprolit, dan bedrock. 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.

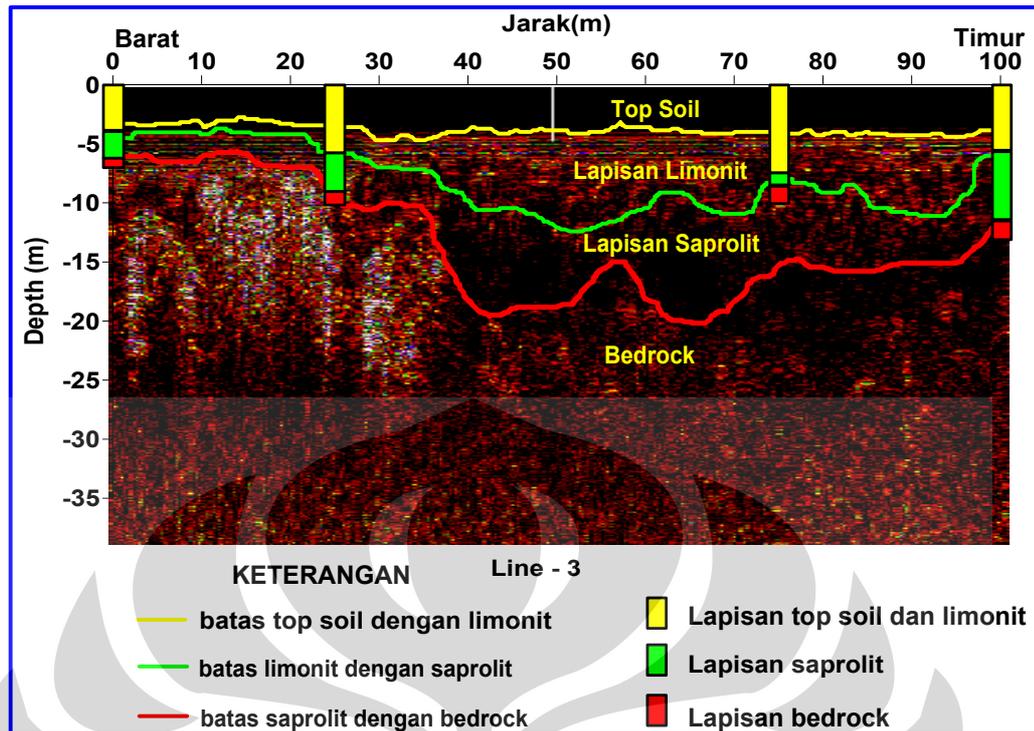
Berdasarkan data sumur bor line-3 yang dikorelasikan dengan interpretasi data GPR line-3 menunjukkan adanya kesesuaian kedalaman pada titik 0, 25, dan 100 m, akan tetapi ada juga ketidaksesuaian yaitu pada titik 75 m. Pada sumur bor di titik 0 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-4 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-4 m. Kedalaman lapisan saprolit adalah 4-7 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 4-7 m. Kedalaman bedrock adalah 7 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 7 m.

Pada sumur bor di titik 25 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-6 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-6 m. Kedalaman lapisan saprolit adalah 6-10 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 6-10 m. Dan kedalaman bedrock adalah 10 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 10 m.

Pada sumur bor di titik 75 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-8 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-8 m. Kedalaman lapisan saprolit adalah 8-9 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 8-9 m. Dan kedalaman bedrock adalah 9 m tetapi pada data GPR menunjukkan kedalaman 13 m.

Pada sumur bor di titik 100 m kedalaman top soil dan lapisan limonit adalah 0-6 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 0-6 m. Kedalaman lapisan saprolit adalah 6-12 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 6-12 m. Dan kedalaman bedrock adalah 12 m dan pada data GPR juga menunjukkan kedalaman 12 m.

Berikut ini merupakan korelasi antara hasil pemodelan data GPR dengan data sumur bor terkait dengan kedalaman masing – masing lapisan.



**Gambar 4.7.** Korelasi data sumur bor dan data GPR *line* – 3

Adapun ketidaksesuaian kedalaman antara hasil interpretasi data GPR dengan data sumur bor pada titik 75 m dikarenakan antara perlapisan terdapat perubahan besar butir yang sulit diidentifikasi batas perlapisan sebenarnya. Hal inilah yang terjadi saat mendekati bedrock sehingga ada perbedaan kedalaman bedrock antara hasil interpretasi data GPR dengan data sumur bor.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

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

1. Metode GPR bekerja berdasarkan prinsip perambatan gelombang elektromagnetik. Sensitivitas metode ini terletak pada kontras konstanta dielektrik pada bidang batas 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 35 m.
3. Pada pengolahan data yang telah dilakukan variasi konstanta dielektrik merupakan faktor penting untuk mengetahui batas antar lapisan. Variasi konstanta dielektrik ini mempengaruhi kedalaman masing – masing lapisan.
4. Pada penelitian ini metode GPR berhasil mendeteksi zona – zona yang berhubungan dengan pembentukan endapan nikel laterit. Zona – zona tersebut adalah top soil, lapisan laterit yang meliputi limonit dan saprolit, dan bedrock.
5. Berdasarkan hasil interpretasi kedalaman lapisan top soil, lapisan limonit, lapisan saprolit, dan bedrock adalah bervariasi pada masing – masing line.

#### **5.2 Saran**

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

1. Perlu dilakukan pengukuran data Common Mid Point (CMP) untuk mengetahui variasi kecepatan gelombang radar pada masing – masing lapisan yang berhubungan dengan pembentukan endapan nikel laterit.

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.

2. Perlu dilakukan penambahan lintasan pengukuran kearah utara daerah penelitian. Hal ini disarankan untuk mengetahui daerah penyebaran (luas area) endapan nikel laterit disekitar daerah penelitian. Hal ini juga diperlukan untuk perhitungan cadangan nikel laterit di daerah penelitian.



## REFERENSI

- Annan, A.P. 2001. *Ground Penetrating Radar Workshop Notes*. Canada. pp. 118-131.
- 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*. Crewes Research Report, Volume 4. pp. 4-14.
- Francke, Jan C., and Nobes, David C. 2000. *A Preliminary Evaluation of GPR For Nickel Laterite Exploration*. Department of Geological Sciences University of Canterbury, New Zealand.
- Mussett, Alan E., and Khan, M. Aftab. 1987. *Looking Into The Earth*. Cambridge University Press, New York. pp. 227-230.
- Patterson, Jeffrey E., and Cook, Prederick A. 1996. *Successful Application of Ground Penetrating Radar in the Exploration of Gem Tourmaline Pegmatites of Southern California*. Department of Geology and Geophysics University of Calgary, Canada.
- Reynolds, John. M. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysic*. England, John Wiley and Sons, inc. pp. 688-719.
- Tim Eksplorasi Nikel Sulawesi. 2007. *Nikel Laterit*. PT. Antam Tbk Unit Geomin Jakarta. pp.1-9.