

# Studi Pemrosesan dan Visualisasi Data *Ground Penetrating Radar*

Yudi Yulius M  
Pusat Penelitian  
Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI  
yudi@ppet.lipi.go.id

Yuyu Wahyu  
Pusat Penelitian  
Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI  
yuyu@ppet.lipi.go.id

Folin Oktafiani  
Pusat Penelitian  
Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI  
folin@ppet.lipi.go.id

## Abstrak

*Ground Penetrating Radar (GPR) telah digunakan dalam beberapa tahun ini sebagai metode non-destruktif untuk menemukan anomali di bawah permukaan. Dalam tulisan ini, pertama-tama akan dibahas mengenai metode yang digunakan dalam survei GPR. Berikutnya, tentang aplikasi GPR untuk menaksir kondisi hidrogeologi dangkal. Prosedurnya untuk memperoleh, memproses, memvisualisasi, dan menginterpretasikan data GPR. Dari studi kasus yang telah dilakukan menunjukkan bahwa data GPR dapat digunakan dalam penentuan geologi bawah permukaan dangkal dan menemukan muka air tanah.*

*Kata kunci: Groudnd penetrating radar, hidrogeologi, permukaan dangkal*

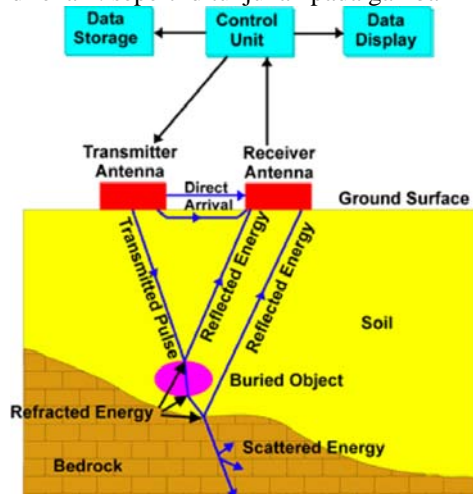
## 1. Pendahuluan

*Ground Penetrating Radar (GPR)* merupakan sistem yang sangat berguna untuk proses pendeteksian benda-benda yang berada atau terkubur di dalam tanah dengan kedalaman tertentu tanpa harus menggali tanah. Dengan adanya alat ini, berbagai kegiatan atau penelitian yang memerlukan informasi keadaan di bawah permukaan tanah dapat dilakukan dengan mudah dan murah.

Istilah GPR mengacu pada sebuah metode geofisika yang menggunakan teknik elektromagnetik yang di rancang untuk merekam corak / karakteristik di bawah permukaan tanah. GPR telah ditemukan sebagai sebuah pilihan yang sangat baik karena memiliki cakupan spesialisasi dan pengaplikasian yang sangat luas.

*Ground Penetrating Radar (GPR)* memiliki cara kerja yang sama dengan radar konvensional. GPR mengirim pulsa energi antara 10 sampai 1000 MHz ke dalam tanah oleh antenna pemancar lalu mengenai suatu lapisan atau objek dengan suatu konstanta

dielektrik berbeda selanjutnya pulsa akan dipantulkan kembali dan diterima oleh antenna penerima, waktu dan besar pulsa direkam. seperti ditunjukkan pada gambar-1.



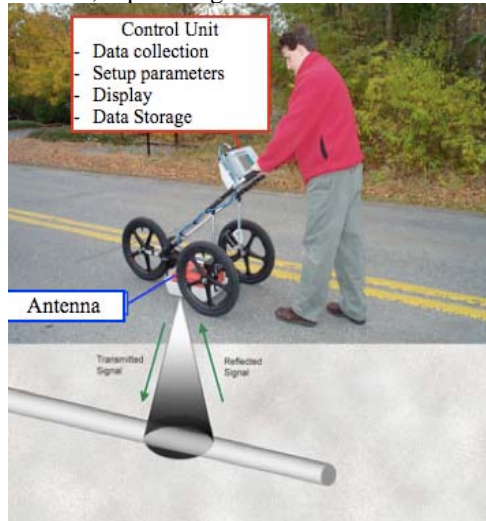
Gambar-1. Skema sistem GPR [4]

## 2. Teori Dasar

### 2.1 Memperoleh Data GPR

Ada beberapa metode berbeda untuk memperoleh data GPR, salah satunya

yang paling umum digunakan adalah mendorong suatu unit GPR sepanjang lintasan, seperti di gambar-2.



Gambar-2. Sistem GPR didorong [5]

Ketika unit GPR bergerak di sepanjang garis survei, pulsa energi dipancarkan dari antenna pemancar dan pantulannya diterima oleh antenna penerima. Antena penerima mengirimkan sinyal ke recorder.

Komponen utama untuk di pertimbangkan dalam memperoleh data GPR adalah jenis transmisi dan antenna penerima yang menggunakan cakupan frekuensi yang tersedia untuk pulsa elektromagnetik. kecepatan sinyal elektromagnetik dapat ditentukan dari persamaan 1, dan panjang gelombang sinyal dapat ditentukan dari persamaan 2 :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

- $v$  : Cepat rambat energi elektromagnetik pada material
- $c$  : Cepat rambat cahaya
- $\epsilon_r$  : Konstanta dielektik relatif

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

- $\lambda$  : Panjang gelombang
- $v$  : Cepat rambat energi

elektromagnet pada material  
 $f$  : Frekuensi

Konstanta dielektrik relatif atau permitivitas dielektrik relatif dapat ditentukan dari pengujian atau dari tabel di bawah.

Tabel-1. Permitivitas dielektrik relatif material [3]

Material	Conductivity (mhos per meter)	Relative dielectric permittivity
Air	0	1
Pure water	$10^{-4}$ to $3 \times 10^{-2}$	81
Sea water	4	81
Fresh-water ice	$10^{-3}$	4
Sand (dry)	$10^{-7}$ to $10^{-3}$	4 to 6
Sand (saturated)	$10^{-4}$ to $10^{-2}$	30
Silt (saturated)	$10^{-3}$ to $10^{-2}$	10
Clay (saturated)	$10^{-3}$ to 1	8 to 12
Sandstone (wet)	$4 \times 10^{-2}$	6
Shale (wet)	$10^{-1}$	7
Limestone (dry)	$10^{-9}$	7
Limestone (wet)	$2.5 \times 10^{-2}$	8
Basalt (wet)	$10^{-2}$	8
Granite (dry)	$10^{-4}$	5
Granite (wet)	$10^{-3}$	7

## 2.2 Prosesing Data GPR

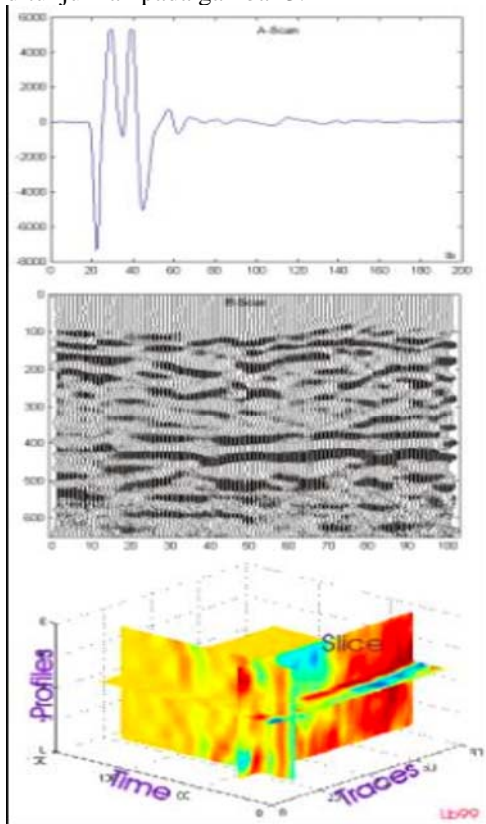
Setelah memperoleh data GPR, maka data ini harus diproses. Prosesing data GPR melibatkan modifikasi sehingga dapat lebih mudah divisualisasikan dan diinterpretasi. Teknik prosesing data meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Konversi data ke penggunaan format digital
- b. Penghilangan/minimalisasi gelombang *direct* dan gelombang udara dari data
- c. Penyesuaian amplitudo pada data
- d. Penyesuaian penguatan pada data
- e. Penyesuaian statis pada data
- f. *Filtering* data
- g. *Velocity* analisis
- h. Migrasi

## 2.3 Visualisasi Data GPR

Ada tiga metode dalam memvisualisasi data GPR, antara lain : A-scan adalah penyajian 1D *single profil* GPR (*trace*), B-scan adalah penyajian 2D

rangkaian *trace* GPR, dan C-scan adalah penyajian 3D rangkaian *trace* 2D [1], seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3: Gambar data GPR A-scan (1D), B-scan (2D), dan C-scan (3D)

## 2.4 Catatan Mengenai Kedalaman Penetrasi GPR

Bagaimanapun data diproses dan divisualisasi, sebuah unit GPR memiliki batas penetrasi kedalaman. Ketika pulsa elektromagnetik dihamburkan seiring kedalaman tertentu, secara cepat memudar dan menghilang. Kedalaman penetrasi sinyal GPR bergantung pada [2] :

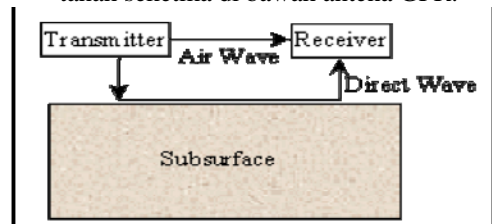
- a. Frekuensi sumber sinyal GPR
- b. Efisiensi radiasi antena GPR
- c. Sifat elektrik material bawah permukaan.

## 3. Metode

### 3.1 Prosesing Data GPR

Pada banyak kasus, survei GPR dengan prosesing yang sangat minim mungkin saja dapat dipakai hasilnya. Dalam kasus ini, satu-satunya penyesuaian yang perlu untuk dibuat adalah konversi data ke suatu penggunaan format digital, melakukan penyesuaian penguatan data, dan menentukan kedalaman setiap reflektor di bawah permukaan. Berikut adalah langkah-langkah yang diperlukan untuk memproses data survei GPR:

- a. **Konversi data ke penggunaan format digital.** Pada kebanyakan unit GPR, data secara otomatis direkam dalam format digital atau data unit GPR yang diperoleh dimasukkan ke komputer dan diproses dengan perangkat lunak [2] .
- b. **Penghilangan atau minimalisasi gelombang *direct* dan gelombang udara dari data.** Seringkali, ada amplitudo refleksi yang besar pada batas antara permukaan udara dan tanah seketika di bawah antena GPR.



Gambar 4: Gelombang *direct* dan gelombang udara.

Kontras yang tinggi antara daya konduktivitas udara dan tanah dapat menciptakan gelombang *direct* dan gelombang udara yang dapat mengaburkan refleksi dari objek penting di bawah permukaan. Gelombang *direct* dan gelombang udara ini dapat dihilangkan dengan komputasi waktu tempuh dan panjang gelombang, kemudian dengan mengurangi gelombang teoritis sepanjang lebar panjang gelombang

dari gelombang aslinya pada setiap *trace* GPR.

- c. **Penyesuaian amplitudo pada data.** Dalam banyak kasus baterai unit GPR dapat melemah saat survei masih berlangsung. Ini menghasilkan *trace* GPR dengan amplitudo refleksi yang semakin lemah. Menentukan waktu habisnya baterai dari waktu ke waktu, kemudian mengalikan masing-masing *trace* dengan suatu konstanta untuk memperbaiki pengurangan tadi dapat mengoreksi masalah ini.
- d. **Penyesuaian penguatan pada data.** Selama sinyal transmisi dari unit GPR menembus tanah, terjadi atenuasi terhadap *trace* GPR. Atenuasi itu dapat dikoreksi dengan melakukan penyesuaian penguatan pada setiap *trace*. Ada beberapa persamaan untuk komputasi penyesuaian penguatan. Dalam satu model, masing-masing nilai data pada keseluruhan jejak dikalikan dengan suatu faktor yang berhubungan dengan kedalaman sinyal [7].
- e. **Penyesuaian statis.** Penyesuaian ini menghilangkan efek yang disebabkan oleh perubahan elevasi dan peningkatan antena GPR.
- f. **Filtering data.** Tujuan dari *filtering* adalah menghilangkan *noise background* yang tidak diinginkan. Untuk menghilangkan *noise* yang tidak diinginkan ini, data *trace time-domain* dikonversi dalam bentuk domain frekuensi dengan menggunakan transformasi Fourier. Frekuensi yang diinginkan disaring, dan *trace* dikonversi kembali menjadi *domain time* dengan menggunakan *invers* transformasi Fourier.
- g. **Velocity analisis.** *Velocity* analisis melibatkan penentuan kecepatan gelombang pada material bawah permukaan, kemudian mengubah *travel time* ke kedalaman. dengan pengujian konstanta dielektrik relatif dan menggunakan persamaan 1, Lalu kedalaman tiap refleksi di bawah permukaan ditentukan dari:

$$d_r = \frac{vt_r}{2} \quad (3)$$

- $d_r$  : kedalaman reflektor  
 $v$  : cepat rambat energi elektromagnet pada material  
 $t_r$  : waktu tempuh ke reflektor dalam two-way travel time

- h. **Migrasi.** Migrasi adalah suatu prosedur untuk mengubah permukaan yang telah terekam dalam data GPR ke data dengan lokasi heterogenitis bawah permukaan pada posisi yang benar [7].

### 3.2 Interpretasi Data GPR

Prosedur interpretasi data GPR untuk penentuan geologi bawah permukaan dangkal dan untuk menentukan kondisi hidrogeologi. Interpretasi ini kemudian bisa dikombinasikan dengan interpretasi dari *log borehole* dan metode geofisika lainnya untuk pencirian bawah permukaan yang lebih akurat.

#### 1. Prosedur Penentuan Geologi Bawah Permukaan Dangkal

Sebagian besar, penentuan geologi bawah permukaan lebih mengarah pada seni dari pada sains. prosedur untuk menentukan geologi bawah permukaan dangkal dari data GPR dengan menggunakan lampiran-1 [3] dan persamaan 3 untuk menentukan kedalaman reflektor di bawah permukaan.

Setelah menginterpretasikan survei, mereka menggunakan data *borehole* dan data geofisika untuk memverifikasi dan mengkalibrasi hasil interpretasi bawah permukaan. Dalam semua kasus interpretasi data, interpretasi dikalibrasikan dengan data bawah permukaan yang telah diketahui, atau dibandingkan dengan data yang diperoleh dari metode geofisika lainnya.

Untuk menentukan geologi bawah permukaan dangkal dari data GPR dilakukan pendekatan sebagai berikut :

- a. Melakukan survei GPR
- b. Memproses data dari survei GPR
- c. menggunakan lampiran-1 untuk menentukan geologi bawah permukaan
- d. kalibrasi geologi bawah permukaan yang diperoleh dari data GPR dengan

data *borehole*, rekaman geologi bawah permukaan yang telah diketahui, dan metode geofisika lainnya.

## 2. Prosedur untuk Menentukan Kondisi Hidrogeologi

Data GPR dapat bermanfaat dalam mencirikan kondisi-kondisi hidrogeologi pada suatu lokasi. pertama-tama memperkirakan kecepatan pulsa GPR elektromagnetik melalui *unsaturated* sedimen bawah permukaan menurut persamaan 1 dan menafsirkan lokasi refleksi muka air tanah dalam profil GPR yang telah diproses menggunakan persamaan 3. Akhirnya, kedalaman muka air tanah dibandingkan dengan kedalaman muka air tanah yang telah diketahui dari sumur-sumur yang dekat dengan lokasi survei GPR.

## 4. Studi Kasus

### 4.1 Pencirian Geologi Bawah Permukaan Dangkal

Dalam penelitiannya [3] mempelajari kondisi geologi bawah permukaan dengan menggunakan antenna 80-MHz, mereka memperoleh resolusi dekat permukaan ( $\text{resolusi} = \text{panjang gelombang} / 2$ ) 1-2 feet dengan suatu antenna. Data survey GPR nya memerlukan pengolahan data yang sangat kecil. Setelah melakukan survey GPR, lalu menggunakan lampiran-1 untuk menginterpretasikan data. Penafsirannya kemudian dibandingkan dengan penafsiran dari *log borehole* bawah permukaan.. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut berikut ini:

- Profil GPR bawah permukaan berkualitas tinggi dapat diperoleh dengan sedikit prosesing data atau tanpa prosesing.
- Penetrasi kedalaman survey GPR berkisar antara 20 sampai 70 feet, bergantung pada tipe sedimen bawah permukaan.
- Kesalahan dalam analisis *log borehole*, estimasi kecepatan radar yang salah, resolusi GPR yang buruk, interferensi

antar reflektor GPR, dan faktor lainnya dapat mengakibatkan korelasi yang buruk antara karakterisasi GPR dan *log borehole*.

- Kebanyakan, GPR adalah metode yang cepat, ekonomis dalam mencirikan litologi (tipe sedimen dan struktur) bawah permukaan. Keakuratan GPR berkurang pada deposit berkonduktivitas tinggi, seperti deposit *saturated clay*.

## 4.2 Penentuan Kondisi Geohidrologi

Dalam studi yang dilakukan oleh [2], ia bisa menginterpretasikan kedalaman muka air tanah dari pengukuran GPR. Dalam studi di mana muka air tanah telah ditemukan pada suatu kedalaman layak, ada suatu refleksi yang jelas di lokasi muka air tanah tersebut. Dalam kasus ini, kedalaman muka air tanah mudah untuk ditentukan.

## 5. Kesimpulan

Metode GPR pertama digunakan ketika metode radar mula-mula dikembangkan. Beberapa pusat penelitian didalam dan diluar negeri membuat unit GPR dan perangkat lunak untuk memproses dan memvisualisasi data GPR.

Survei GPR digunakan untuk penginderaan jarak jauh di bawah permukaan dangkal. Jika data GPR diproses dan diinterpretasikan secara tepat, GPR dapat digunakan secara efektif untuk menentukan geologi bawah permukaan dangkal

## 6. Daftar pustaka

- Baradello, L. Acquisition and Processing of GPR Data. ([http://web.interpunto.net.it/baradello/georadar\\_processing.html](http://web.interpunto.net.it/baradello/georadar_processing.html))
- Benson, A. K. (1995). "Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: examples of groundwater contamination, faults, cavities." *J. of Applied Geophysics*, 33(1-3), 177-193.

- [3] Beres, M., and Haeni, F. P. (1991). "Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeologic studies." *Ground Water*, 29(3), 375-386.
- [4] Environmental Protection Agency. Ground-Penetrating Radar. ([http://www.epa.gov/region5superfund/sfd\\_fss/htm/gpr.htm](http://www.epa.gov/region5superfund/sfd_fss/htm/gpr.htm))
- [5] Geophysical Survei Systems, Inc. Geophysical Survei Systems, Inc. web site. (<http://www.geophysical.com/>)
- [6] Olhoeft, G. R. GEORADAR: Ground Penetrating Radar. (<http://www.g-p-r.com/>)
- [7] Smemoe, C. (1999). *Geology 560 (Geophysics II) Class Notes*, taught by Al Benson

## Lampiran

Tabel untuk menentukan tipe sedimen bawah permukaan (dari Beres and Haeni, 1991).

