

Sistem *Ground Penetrating Radar* untuk Mendeteksi Benda-benda di Bawah Permukaan Tanah

Folin Oktafiani
P2 Elektronika dan
Telekomunikasi – LIPI
folin@ppet.lipi.go.id

Sulistyaningsih
P2 Elektronika dan
Telekomunikasi – LIPI
sulis@ppet.lipi.go.id

Yusuf Nur Wijayanto
P2 Elektronika dan
Telekomunikasi – LIPI
yusuf@ppet.lipi.go.id

Abstract

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan suatu alat yang digunakan untuk proses deteksi benda-benda yang terkubur di bawah tanah dengan tingkat kedalaman tertentu, dengan menggunakan gelombang radio. Dalam sistem GPR peralatan yang digunakan terdiri dari unit kontrol, antena pengirim dan antena penerima, penyimpanan data yang sesuai dan peralatan display. Aplikasi GPR dapat digunakan untuk survey benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton. Keuntungan penggunaan GPR adalah relatif mudah dilakukan dan tidak merusak, antena tidak harus bersentuhan secara langsung dengan permukaan tanah, dengan cara demikian dapat mempermudah dan mempercepat pengukuran. Keterbatasan utama GPR adalah lokasi capaiannya yang spesifik, dan antena GPR secara umum dioptimasi hanya untuk durasi pulsa tertentu. Jadi apabila GPR bekerja dengan impuls yang berbeda memerlukan antena yang berbeda

Kata kunci : ground penetrating radar, antena, survey GPR

1. Latar belakang

Penggunaan sinyal elektromagnetik pertama untuk menentukan keberadaan suatu objek *remote terrestrial* biasanya dihubungkan dengan *Hilsmeyer* pada tahun 1904. Pekerjaan *Hilsmeyer* pada tahun 1926 terlihat sebagai penggunaan pertama teknik pulsa untuk menentukan struktur yang tersembunyi. Setelah tahun 1930-an, teknik pulsa telah dikembangkan untuk menyelidiki sedapat mungkin kedalaman berbagai macam medium dan mendeteksi benda-benda yang terpendam dalam tanah [1].

Kemungkinan mendeteksi objek yang terpendam sedikitnya telah menarik perhatian manusia sejalan dengan perkembangan teknologi. Teknik tunggal dimana mampu membuat tanah dan kandungannya bisa dilihat secara jelas sangat menarik dan potensial sehingga banyak penelitian yang berusaha untuk mendapatkan metode eksplorasi yang tepat.

Sampai saat ini, belum ada metode tunggal yang telah ditemukan untuk memberikan jawaban yang menyeluruh, tapi metode seismik, *electrical-resistivity*, *induced-polarisation*, *gravity-surveying*, *magnetic surveying*, *nucleonic*, *radiometric*, *thermographic* dan elektromagnetik telah terbukti sangat berguna. Dengan berkembangnya teknologi telah ditemukan sebuah pilihan yang sangat baik untuk pendeteksian bawah tanah karena memiliki cakupan spesialisasi dan pengaplikasian yang sangat luas yaitu *ground penetrating radar (GPR)*.

2. Dasar teori

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan suatu alat yang digunakan untuk proses deteksi benda – benda yang terkubur di bawah tanah dengan tingkat kedalaman tertentu, dengan menggunakan gelombang radio, biasanya dalam range 10 MHz sampai 1GHz .

Seperti pada sistem radar pada umumnya, sistem GPR terdiri atas pengirim (trasmitter),

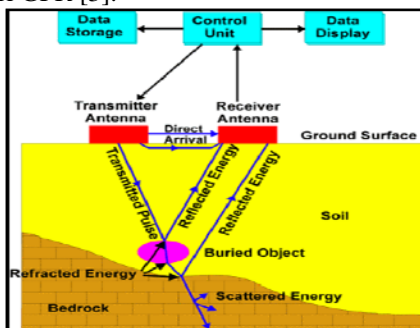
yaitu antena yang terhubung ke sumber pulsa, dan bagian penerima (receiver), yaitu antena yang terhubung ke unit pengolahan sinyal dan citra. Adapun dalam menentukan tipe antena yang digunakan, sinyal yang ditransmisikan dan metode pengolahan sinyal tergantung pada beberapa hal, yaitu:

- Jenis objek yang akan dideteksi
- Kedalaman Objek, dan
- Karakteristik elektrik medium tanah

Dari proses pendeteksian seperti di atas, maka akan didapatkan suatu citra dari letak dan bentuk objek yang terletak di bawah tanah. Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik, suatu sistem GPR harus memenuhi empat persyaratan sebagai berikut [2] :

- Kopling radiasi yang efisien ke dalam tanah,
- Penetrasi gelombang elektromagnetik yang efisien,
- Menghasilkan sinyal dengan amplitudo yang besar dari objek yang dideteksi,
- bandwidth yang cukup untuk menghasilkan resolusi yang baik.

Ground Penetrating Radar atau GPR juga memiliki cara kerja yang sama dengan radar konvensional. GPR mengirim pulsa energi antara 10 sampai 1000 MHz ke dalam tanah dari suatu antena, dan kemudian merekam pemantulannya dalam waktu yang sangat singkat. Gambar 1 menunjukkan skema kerja dari GPR [3].



Gambar 1 Skema GPR

Jika suatu pulsa GPR mengenai suatu lapisan atau objek dengan suatu konstanta dielektrik berbeda, pulsa akan dipantulkan kembali, diterima oleh antena receiver,

waktu dan besar pulsa direkam, seperti ditunjukkan pada gambar 1. Pada banyak kasus, antena transmitter dan antena receiver adalah sama.

Walaupun GPR beroperasi sama seperti sistem radar konvensional pada umumnya, dalam artian bahwa ia mengirimkan gelombang elektromagnetik dan menerima radar yang kembali, yang kemudian diproses untuk melihat target. Namun demikian, GPR dikarakterisasi oleh tiga prinsip mendasar yang membedakannya dari sistem radar konvensional.

Pertama, bandwidth operasi dari GPR diletakkan pada frekuensi rendah untuk mendapatkan kedalaman penetrasi yang memadai ke dalam tanah. Kenyataannya, kedalaman penetrasi dari sinyal yang dipancarkan, pada umumnya sangat terbatas sesuai dengan panjang gelombangnya. Di sisi lain, radar harus mampu menyediakan resolusi *down-range* yang memadai, untuk itu bandwidth operasi diperlukan bandwidth operasi puluhan sampai ratusan megahertz. Bandwidth operasi ini sesuai dengan frekuensi tengah radar, yang menyebabkan bandwidth relatif (rasio bandwidth terhadap frekuensi tengah) mendekati satu atau terkadang lebih besar. Ini berarti GPR bersifat ultra *wideband* dan berbeda dengan sistem radar konvensional, yang beroperasi pada band frekuensi yang lebih tinggi.

Kompromi antara kedalaman penetrasi dan resolusi harus selalu dilakukan, penetrasi yang lebih dalam dapat dicapai dengan menggunakan frekuensi yang lebih rendah namun dengan resolusi *down-range* yang lebih rendah pula.

Kedua, tidak seperti sistem radar konvensional GPR beroperasi di dekat permukaan tanah. Ini berakibat kekasaran dari permukaan tanah dan ketidakhomogenan tanah dapat meningkatkan *clutter*. Dalam banyak kasus pengguna GPR dengan terpaksa harus melakukan image processing tingkat lanjut untuk membedakan target dari *clutter*.

Ketiga, kebanyakan GPR merupakan sistem radar jarak dekat (*short-range*). Pada kondisi ini target biasanya terletak di daerah

medan dekat atau medan menengah sehingga karakteristik medan dekat antenna menjadi sangat penting. Ini sangat berbeda dengan radar konvensional, yang beroperasi pada medan jauh.

Ada beberapa metode berbeda untuk memperoleh data GPR. Salah satunya yang paling umum digunakan adalah menyeret suatu unit GPR sepanjang lintasan atau menyeret suatu GPR unit di belakang suatu kendaraan [3], seperti di gambar 2.



Gambar 2 Antena GPR diderek oleh ATV

Ketika unit GPR bergerak di sepanjang garis survey, pulsa energi dipancarkan dari antenna transmisi dan pantulannya diterima oleh antenna receiver (antenna transmisi dan antenna receiver bisa sama). Antenna receiver mengirimkan sinyal ke recorder. Data direkam pada suatu visual readout, paper chart, komputer, atau kombinasi ketiganya.

3. Sistem komponen

Sistem GPR yang digunakan untuk mengukur keadaan di bawah permukaan tanah terdiri dari unit kontrol, antenna pengirim dan antenna penerima, penyimpanan data yang sesuai dan peralatan display.

Unit kontrol radar menghasilkan pulsa *trigger* tersinkronasi ke pengirim dan penerima elektronik di antenna. Pulsa ini mengendalikan pengirim dan penerima elektronik untuk menghasilkan *sample* gelombang dari pulsa radar yang dipantulkan.

Antenna merupakan *transducer* yang mengkonversikan arus elektrik pada elemen-elemen antenna logam (biasanya antenna bowtie-dipole sederhana) untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik

yang akan dipropagasikan ke dalam material. Antenna memancarkan energi elektromagnetik ketika terjadi perubahan percepatan arus pada antenna. Radiasi terjadi sepanjang garis, dan radiasi terjadi sepanjang waktu ketika terjadi perubahan arah arus (misalnya pada ujung elemen antenna). Mengendalikan dan mengarahkan energi elektromagnetik dari antenna merupakan tujuan dari perancangan antenna. Antenna juga mengubah gelombang elektromagnetik ke arus pada suatu elemen antenna, bertindak sebagai suatu penerima energi elektromagnetik dengan cara menangkap bagian gelombang elektromagnetik.

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

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

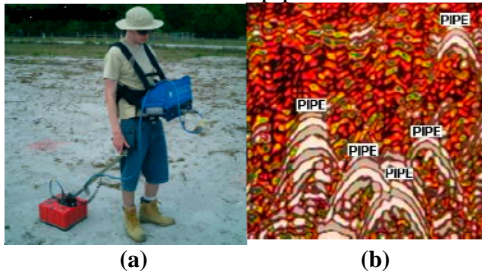
Sebuah mikrokomputer yang kecil dan operating sistem standard kerap kali digunakan untuk mengendalikan proses pengukuran, menyimpan data, dan bertindak sebagai penghubung dengan pengguna. Data kemungkinan akan mengalami proses penyaringan pada bidang untuk menghilangkan noise, atau data kasar mungkin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

kasus-kasus tertentu ketika data harus ditafsirkan segera setelah direkam.

4. Aplikasi GPR

Aplikasi GPR dapat digunakan untuk survey benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton.

Survey GPR untuk benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal dapat dilakukan oleh satu orang dan antena GPR dapat ditarik dengan menggunakan tangan atau ATV. GPR ini dapat digunakan untuk mencari lokasi pipa, tank, drum, pencitraan beton, studi arkeologi. Gambar 3 menunjukkan salah satu aplikasi GPR untuk mendeteksi keberadaan pipa



Gambar 3 (a). Penggunaan GPR di lapangan, (b). Citra dari pipa yang terpendam dalam tanah.

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

GPR juga dapat digunakan untuk menentukan keberadaan pipa, kabel listrik, struktur beton pada dinding, lantai, terowongan, bendungan, jalan aspal dan permukaannya. Gambar 4 menunjukkan aplikasi GPR untuk menyelidiki struktur beton pada dinding [4].

5. Analisa

5.1. Keuntungan

Salah satu keuntungan pengukuran GPR adalah relatif mudah untuk dilakukan dan

tidak merusak. Antena dapat dibawa oleh tangan atau dengan kendaraan dari 0.8 sampai 8 kph, atau lebih, yang mampu menghasilkan unit waktu yang dapat dipertimbangkan. Data GPR acapkali dapat ditafsirkan dengan benar pada tanah tanpa pemrosesan data. Display grafik data GPR acapkali menyerupai potongan melintang lapisan tanah. Ketika data GPR dikumpulkan pada jarak yang dekat (kurang dari 1 meter), data tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan pandangan dimensional yang dapat meningkatkan kemampuan untuk menafsirkan kondisi-kondisi di bawah permukaan tanah.



Gambar 4 Aplikasi GPR untuk mendeteksi struktur beton pada dinding

Disisi lain keuntungan utama dari teknik GPR adalah bahwa antena tidak harus bersentuhan secara langsung dengan permukaan tanah, dengan cara demikian dapat mempermudah dan mempercepat pengukuran. Performa yang optimum, terlebih dengan jarak yang kecil dari antena ke permukaan tanah, biasanya akan dapat diamati hanya dengan menggunakan detail nilai dari geometri dan sifat alami tanah.

Keuntungan lain dari sistem radar adalah kemampuannya dalam mendeteksi tipe sasaran tertentu yang diberikan dan menghasilkan gambar sasaran dalam 3 dimensi. Dalam material yang memiliki konduktivitas frekuensi rendah yang tinggi, seperti air garam, tanah liat dan bijih yang konduktif atau mineral, akan terjadi peredaman sinyal yang besar. Hal tersebut dapat saja dikurangi dengan menurunkan frekuensi yang dipancarkan, tetapi hal ini juga dapat mengurangi resolusi antara target.

5.2. Keterbatasan

Keterbatasan utama GPR adalah lokasi capaiannya yang spesifik. Acapkali, kedalaman penetrasi dibatasi oleh adanya mineralogi tanah liat atau pori-pori cairan dengan konduktivitas tinggi yang dapat menghambat pencapaian resolusi dan kedalaman penetrasi yang tinggi. Selain itu kondisi material tanah yang berbeda-beda pada tiap lokasi menyebabkan resolusi dan kedalaman penetrasi menjadi berubah-ubah pula sehingga untuk mendapatkan resolusi dan kedalaman penetrasi yang konstan mau tidak mau harus mengubah frekuensi serta durasi pulsa. Oleh karena itu beberapa sistem GPR dilengkapi dengan pembangkit pulsa untuk transmisi impuls dengan berbagai durasi yang berbeda untuk kedalaman penetrasi yang berbeda. Antena GPR bagaimanapun secara umum dioptimasi hanya untuk durasi pulsa tertentu. Jadi apabila GPR bekerja dengan impuls yang berbeda memerlukan antena yang berbeda. Penggantian antena berulang-ulang adalah tidak efisien, proses yang merepotkan dan bahkan menjadi aktifitas yang mengganggu bagi pengguna khususnya bagi survey yang sering.

6. Kesimpulan

1. *Ground penetrating radar* (GPR) merupakan suatu alat yang digunakan untuk proses deteksi benda-benda yang

terkubur di bawah tanah dengan tingkat kedalaman tertentu, dengan menggunakan gelombang radio.

2. Peralatan GPR yang digunakan terdiri dari unit kontrol, antena pengirim dan antena penerima, penyimpanan data yang sesuai dan peralatan display.
3. Aplikasi GPR dapat digunakan untuk survey benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton.
4. Keuntungan penggunaan GPR adalah relatif mudah untuk dilakukan dan tidak merusak, dan antena tidak harus bersentuhan secara langsung dengan permukaan tanah.
5. Keterbatasan utama GPR adalah lokasi capaiannya yang spesifik, dan antena GPR secara umum dioptimasi hanya untuk durasi pulsa tertentu.

7. Daftar pustaka

- [1] D. J. Daniel, *Surface Penetrating Radar*, The Institution of Electrical Engineers, 1996
- [2] L.P. Lighthart, E.E. Lighthart, *Lecture Notes for The Intensive Course on Ground Penetrating Radar*, 2004
- [3] <http://www.et.byu.edu:8080/~geoscms/gpr.htm#References>
- [4] <http://www.geomodel.com/>