

## PEMETAAN KONDISI BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GEOFISIKA (STUDI KASUS: BENDUNG PASARBARU, TANGERANG)

### *MAPPING OF SUBSURFACE CONDITION BY GEOPHYSICAL METHOD (CASE OF STUDY: PASARBARU WEIR, TANGERANG)*

Adang S. Soewaeli<sup>1)</sup>, Nurlia Sadikin<sup>2)</sup>

Peneliti Pusat Litbang Sumber Daya Air  
Jl. Ir. H. Djuanda No. 193, Bandung  
E-mail: n.sadikin@gmail.com

Diterima: 08 September 2014; Disetujui: 05 November 2014

#### ABSTRAK

*Bendung Pasarbaru Irigasi Cisadane atau Bendung Pintu Air Sepuluh berlokasi di Kelurahan Koang Jaya, Kecamatan Karawaci, Tangerang. Bendung yang membentang sepanjang 110 meter di Kali Cisadane ini merupakan warisan kolonial Belanda, dibangun pada tahun 1923 dengan tujuan mengatur aliran sungai Cisadane untuk keperluan irigasi kota Tangerang. Upaya untuk monitoring kondisi aktual bendung dan sekitarnya dilakukan pengukuran Ground Penetrating Radar (GPR) atau Georadar untuk mengetahui kondisi dan karakteristik dibawah permukaan tanah. Pada dasarnya GPR bekerja dengan memanfaatkan pemantulan sinyal, pengolahan data dilakukan menggunakan software RADAN (RADAR Data ANalyzer) dan pada instalasi alat Georadar, digunakan antena 100 MHz. Hasil pengukuran georadar memperlihatkan anomali pada pertemuan struktur bendung dengan batas timbunan tanah aslinya. Pada lintasan arah memanjang dan melintang, variasi intensitas tidak menunjukkan kontras yang ekstrim di tubuh bendung. Tidak adanya perbedaan amplitudo mengindikasikan tidak adanya perbedaan kepadatan, artinya kondisi bawah permukaan bendung relatif homogen. Terdapat indikasi rembesan pada lintasan yang merupakan perpanjangan dari lintasan memanjang di kedalaman antara 14 m – 22 m. Anomali ini, perlu diyakinkan dengan melakukan pengujian berupa pengeboran atau pengukuran lainnya.*

**Kata kunci:** Bendung, geofisika, ground penetration radar, anomali, amplitudo

#### ABSTRACT

*Cisadane irrigation of Pasarbaru weir or Pintu Air Sepuluh weir is located in the Village of Koang Jaya, District Karawaci, Tangerang. The weir which has 110 meters long across Cisadane River is a heritage of Dutch colonial, built in 1923 as control of flows of Cisadane River for irrigation in Tangerang. In order to monitor the actual condition of the weir and its surrounding, measurement of Ground Penetrating Radar (GPR) or georadar had been done to determine the subsurface condition and characteristics. GPR works by utilizing the reflection signal, data processing was performed using RADAN (Radar Data Analyzer) and georadar's antenna was 100 MHz antenna. Results of measurement showed anomaly at boundary of weir structure with its original embankment. Intensity variations did not show an extreme contrast in the weir, either on elongated or cross section. Lack of differences in amplitude indicated density almost same. This means weir conditions are relatively homogeneous. There were indications of seepage on the elongated extension line at depths between 14 m – 22 m. These anomalies, need to be further test of drilling or other measurements.*

**Keywords:** Weir, geophysics, ground penetration radar, anomaly, amplitude

#### PENDAHULUAN

Air tidak hanya digunakan untuk keperluan minum saja, tetapi juga kebutuhan air lainnya yaitu keperluan produksi bahan pangan. Khusus untuk irigasi, daerah irigasi di Indonesia yang total luasnya 7,23 juta hampir sebagian besar pasokan airnya rentan terhadap faktor aliran sungai secara

musiman. Dari keseluruhan daerah irigasi, 80 ribu ha atau sekitar 11% pasokan airnya terjamin melalui waduk dan sementara 89% selebihnya sangat tergantung pada ketersediaan air sungai saat itu.

Kondisi dan penggunaan ruang di daerah aliran sungai mempunyai andil besar terhadap daya dukung sumber daya air. Rusaknya sumber-

sumber air berkaitan dengan kesalahan pengelolaan lingkungan, perubahan tata guna lahan, pencemaran oleh limbah domestik dan industri serta eksploitasi sumber daya air yang berlebihan akibat tekanan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi. Dalam menyelesaikan permasalahan sumber daya air ini, dibutuhkan tiga aspek pengelolaan sumber daya air terpadu, yaitu: payung kebijakan, perangkat, kelembagaan dan perangkat manajemen yang dilaksanakan secara utuh dan komprehensif.

Memecahkan permasalahan tersebut diatas, dilakukan suatu pengkajian penerapan teknologi sumber daya air. Dalam mendukung studi kinerja dan tingkat keamanan bangunan air, diperlukan analisis dan evaluasi kondisi bangunan air utama dengan teknologi georadar.

Di seluruh Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) dan Balai Wilayah Sungai (BWS) di Indonesia, telah dibangun ratusan atau bahkan ribuan bangunan air utama. Bendung dan Bendungan merupakan bangunan air utama yang memiliki fungsi untuk menampung, menahan dan menaikkan muka air. Bangunan-bangunan tersebut harus kuat untuk menahan tekanan air, mempunyai tingkat rembesan di bawah ambang batas yang diijinkan, mempunyai prasarana dan sarana pengoperasian yang dapat berfungsi dengan baik serta mempunyai sistem instrumentasi yang memadai guna mengetahui fungsi dan kinerja masing-masing komponen bangunan. Sementara itu, tidak semua bangunan air utama mempunyai kondisi seperti tersebut di atas, sebagian mempunyai kondisi yang baik dan dapat beroperasi dengan baik, sedangkan sebagian lagi mungkin kondisinya baik namun kurang dapat berfungsi dengan baik atau kondisi maupun fungsinya sudah dalam keadaan yang kurang baik.

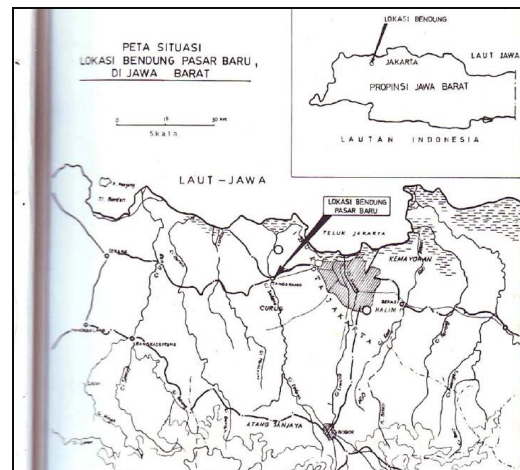
Pada bangunan yang kondisi dan fungsinya kurang baik, seringkali kurang disadari oleh para pengelola bangunan air (BBWS atau BWS) dan belum diketahui apa yang harus dilakukan. Para pengelola bangunan air lebih terbiasa dengan sistem pengoperasian dan pemeliharaan bangunan yang telah mempunyai pedoman atau sistem prosedur operasionalnya. Kondisi-kondisi yang di luar kebiasaan sering kali tidak tersentuh dan baru diperhatikan setelah menemui permasalahan yang berarti.

Oleh karena itu, untuk menjaga kondisi dan fungsi bangunan air utama diperlukan pengetahuan dan teknologi yang cukup serta peralatan atau instrumentasi yang memadai. Hal itu diperlukan oleh para pengelola bangunan air utama, agar dapat diketahui penyebab kerusakan atau menurunnya kinerja/fungsi serta bagaimana cara-cara penanggulangannya sehingga mereka

perlu diberikan contoh-contoh studi kasus berbagai jenis permasalahan.

Dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, penyelidikan terhadap kinerja bangunan air akan semakin mudah dilakukan. Adanya rongga-rongga dibawah bangunan air akan dapat di deteksi dengan peralatan seperti georadar. Hasil kajian tersebut akan menjadi masukan untuk metodologi penanggulangan kerusakan bangunan dan meningkatkan fungsi serta membantu menjaga konservasinya. Keamanan bendung jelas menjadi isu utama dalam melakukan penelitian ini, karena selain perbaikan pintu, seiring dengan waktu seperti permasalahan di banyak bangunan air, akan perlu dilakukannya pengerukan akibat sedimentasi. Jika pengerukan sedimentasi tidak dilakukan, dapat menyebabkan banjir dan memperparah kerusakan pada pintu bendung.

Penelitian ini menjelaskan salah satu contoh penerapan pengukuran GPR pada bangunan air, khususnya bendung. Bendung Pasarbaru Irigasi Cisadane atau Bendung Pintu Air Sepuluh berlokasi di Kelurahan Koang Jaya, Kecamatan Karawaci, Tangerang (Gambar 1).



**Gambar 1** Lokasi Bendung Pasarbaru Irigasi Cisadane (DPMA, 1977)

Bendung yang membentang sepanjang 110 meter di Kali Cisadane ini merupakan warisan kolonial Belanda, dibangun pada tahun 1923 dengan tujuan mengatur aliran sungai Cisadane untuk keperluan irigasi kota Tangerang (Gambar 2).

Bendung Pasarbaru dikelola oleh Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (BPSDA) Cisadane-Ciujung kota Tangerang. Batas ketinggian normal bendung ini adalah 12,5 meter, tinggi maksimum yang pernah dicapai sekitar 14 meter. Pada musim kemarau, ketinggian air mencapai 11 meter.



**Gambar 2** Bendung Pasarbaru Irigasi Cisdane

Seiring dengan waktu dan pernah terjadi jebolnya Bendung Pasarbaru, mengakibatkan penyusutan debit air sungai sekitar 1,3 meter dari kondisi normal. Kondisi bangunan dan sepuluh buah pintu air yang lebarnya masing-masing sepuluh meter dengan menggunakan lima penggerak merek HEEMAF buatan Belanda berkapasitas 6000 Watt pun perlu mendapatkan perhatian khusus (Gambar 3). Selain perbaikan pintu, perlu pula dilakukan pengerukan akibat sedimentasi. Karena jika pengerukan sedimentasi tidak dilakukan dapat menyebabkan banjir dan memperparah kerusakan pada pintu bendung.



**Gambar 3** Pintu-pintu Bendung Pasarbaru dilihat dari arah hilir, lebar masing-masing pintu adalah 10 meter

Sebagai upaya memonitoring kondisi aktual bendung, dilakukan pengukuran dengan metode geofisika, yaitu *Ground Penetrating Radar* atau yang lebih dikenal dengan istilah Georadar. Pengukuran georadar akan dilakukan di sepanjang tubuh bendung (Gambar 4). Target utamanya adalah mendeteksi kelainan atau anomali pada badan bendung, pilar dan bidang luncur.



**Gambar 4** Struktur Bendung Pasarbaru dari arah hilir, dijalan inspeksi inilah pengukuran georadar dilakukan

## KAJIAN PUSTAKA

### 1 Sifat Kelistrikan Batuan

Adanya perbedaan sifat kelistrikan didalam batuan dan mineral, digunakan sebagai dasar untuk penyelidikan bawah permukaan dengan metode geofisika. Georadar atau GPR (*Ground Penetrating Radar*) adalah salah satu metode geofisika, sifat kelistrikan batuan yang penting dalam pengukuran GPR adalah sifat penghantar listrik (konduktor) dan permitivitas listrik dalam konstanta dielektrik (isolator).

Benda atau materi yang kita jumpai sehari-hari merupakan kumpulan sejumlah atom atau molekul. Atom terdiri dari inti positif yang dikelilingi oleh elektron bermuatan negatif. Pada benda/materi padat, cair dan gas terjadi interaksi antara satu atom dengan atom lainnya, menyebabkan elektron menjadi bebas.

Benda yang mengandung elektron bebas disebut penghantar listrik atau konduktor dan yang sedikit mengandung elektron bebas disebut penahan listrik atau isolator. Sedangkan batas antara isolator dan konduktor adalah semi konduktor, tetapi batasnya kurang jelas. Ada beberapa benda dalam keadaan normal mempunyai sifat isolator, tapi dibawah pengaruh temperatur dan tekanan bisa berubah menjadi konduktor.

Telford (1976) menjelaskan umumnya arus listrik didalam batuan dialirkan melalui 3 (tiga) cara, ialah: dengan konduksi elektronik atau Ohmic, konduksi elektrolitik atau Ionik dan konduksi dielektrik yang terjadi pada isolator atau konduktor yang buruk. Penjelasan untuk setiap aliran listrik didalam batuan, sebagai berikut:

- 1) Konduksi elektronik; arus listrik mengalir secara normal didalam bahan / material dengan elektron bebas, seperti yang terjadi pada logam.
- 2) Konduksi elektrolitik; arus listrik mengalir dengan media ion-ion atau proses elektrolisa, kecepatan rendah seperti yang terjadi pada batere (accu). Batuan yang merupakan konduktor buruk, tahanan jenisnya besar dan terkadang juga porous serta lubang-lubangnya terisi air. Konduktifitas seperti ini, cenderung ionik dibandingkan ohmik, maka tahanan jenisnya akan bervariasi sesuai dengan derajat kelarutan ion-ion dan dielektrik dari larutan. Selain itu pada batuan porous akan berubah tergantung dari volume dan jumlah lubang-lubang dibandingkan dengan konduktifitas dan jumlah air yang mengisinya.
- 3) Konduksi dielektrik; umumnya terjadi pada benda yang berupa konduktor-konduktor yang buruk atau isolator, arus listrik mengalir sangat sedikit atau bahkan tidak mengalir sama sekali. Akibat pengaruh arus listrik, elektron-elektron bergeser sedikit terhadap intinya dan terjadi pengarahannya elektron atau polarisasi ion / molekulnya yang tergantung juga pada fungsi waktu.

Dielektrik adalah suatu bahan dapat berwujud padat, cair dan gas memiliki daya hantar arus yang sangat kecil atau bahkan hampir tidak ada. Karena dielektrik adalah sejenis bahan isolator listrik yang dapat dikutubkan (polarisasi) dengan cara menempatkan bahan dielektrik dalam medan listrik, sehingga tidak timbul arus seperti bahan konduktor, tetapi hanya sedikit bergeser dari posisi setimbangnya mengakibatkan terciptanya pengutuban dielektrik.

Konstanta Dielektrik atau Permittivitas Listrik relatif yang melambangkan rapatnya aliran (fluks) elektrostatik dalam suatu bahan, bila diberi potensial listrik. Konstanta Dielektrik (Telford 1976; Kirsch, 2006) adalah perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan tersebut jika diberi sebuah potensial, relatif terhadap vakum (ruang hampa).

Konstanta dielektrik dilambangkan dengan huruf Yunani  $\epsilon_r$  atau kadang-kadang  $K$ ,  $K$ , atau  $D_k$ . Secara matematis konstanta dielektrik suatu bahan didefinisikan sebagai

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_0} \tag{1}$$

Keterangan:

$\epsilon_r$  merupakan permitivitas statis dari bahan tersebut, dan  $\epsilon_0$  adalah permitivitas vakum. Permittivitas vakum diturunkan dari persamaan Maxwell dengan menghubungkan intensitas medan listrik E dengan kerapatan fluks listrik D. Di vakum (ruang hampa), permitivitas  $\epsilon$  sama dengan  $\epsilon_0$ , jadi konstanta dielektriknya adalah 1.

Untoro (2011) menjelaskan bahwa Permittivitas Relatif Dielektrik atau Konstanta Dielektrik ( $\epsilon_r$ ) adalah:

- 1) Ukuran tanpa dimensi dari kemampuan (kapasitas) material untuk menyimpan listrik bila medan listrik dialirkan
- 2) Rentang nilai antara 1 s/d 81;
- 3) Nilai tersebut dipengaruhi oleh kandungan air;
- 4) Konstanta Dielektrik berbeda pada bidang batas menimbulkan sinyal pantul data radar;
- 5) Kekuatan pantulan dikontrol oleh kontras konstanta dielektrik dari dua lapisan material yang berbeda.
- 6) Perbedaan dielektrik sekecil 1 sudah dapat menyebabkan pantulan/refleksi dalam data GPR.

Konstanta dielektrik dari beberapa material, dapat diperiksa pada Tabel 1.

**Tabel 1** Perkiraan Konstanta Dielektrik Beberapa Material

Material	Daya Hantar Listrik ( $m\Omega m^{-1}$ )	Konstanta Dielektrik
Udara	0	1
Air murni	$10 - 3 \times 10^{-2}$	81
Air Laut	4	81
Air Es	$10^{-3}$	4
Pasir kering	$10^{-7} - 10^{-3}$	4 - 6
Pasir jenuh	$10^{-4} - 10^{-2}$	30
Lanau jenuh	$10^{-3} - 10^{-2}$	10
Lempung Jenuh	$10^{-1} - 1$	8 - 12
Batupasir basah	$4 - 10^{-2}$	6
Serpih basah	$10^{-1}$	7
Batugamping kering	$10^{-9}$	7
Batugamping basah	$2,5 - 10^{-2}$	8
Basalt basah	$10^{-2}$	8
Granit kering	$10^{-8}$	5
Granit basah	$10^{-3}$	7

Sumber : Assad dkk, 2004

## 2 Penerapan Georadar

Murwanto (2011) mengemukakan bahwa georadar atau GPR (*Ground Penetrating Radar*) digunakan untuk mengetahui kondisi dan karakteristik bawah permukaan tanah. Metode ini merupakan bagian dari Geofisika Elektromagnetik (EM), dengan cara memancarkan frekuensi gelombang pendek ke dalam tanah dan kemudian merekam pantulannya. Beberapa kelebihan yang dimiliki teknologi ini diantara metode geofisika lainnya, adalah: lebih murah biaya operasional, lebih tingginya resolusi hasil karena penggunaan frekuensi tinggi (*broadband* atau *wideband*), cukup mudah pengoperasiannya, aman digunakan dan merupakan metoda *non destructive*.

Gelombang elektromagnetik pada kisaran frekuensi tertentu dapat menembus batuan, tanah atau air seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hubungan frekuensi, penerapan dan kedalaman

Frekuensi	Penerapan	Kedalaman (m)
1,5 GHz	Struktur Beton, Jalan, Jembatan	0,5
900 MHz	Beton, Tanah Dangkal, Arkeologi	1
400 MHz	Geologi Dangkal, Lingkungan, Arkeologi	4
200 MHz	Geologi, Lingkungan	8
100 MHz	Geologi, Lingkungan	20

Sumber: GSSI, 2003

Untoro (2011) menjelaskan frekuensi yang umumnya digunakan dalam pengukuran georadar antara 6 – 2.000 MHz dan penetrasi kedalamannya tergantung konduktivitas tanah/batuan. Pengukuran georadar tidak dilakukan bila hujan, karena berbahaya pengaruh halilintar dan juga tanah/batuan akan menjadi material penghantar listrik atau konduktor yang menyebabkan resolusinya menjadi rendah.

Penetrasi kedalaman dari pengukuran GPR akan berkurang, antara lain dikarenakan:

- 1) Daya Hantar Listrik bertambah
- 2) Kandungan air bertambah
- 3) Kandungan lempung bertambah
- 4) Hamburan bertambah
- 5) Material kontaminasi konduktor bertambah

Penetrasi kedalaman akan bertambah dengan cara:

- 1) Frekuensi Antena lebih rendah
- 2) Power Pemancar (*Transmitter*) diperkuat
- 3) Kepekaan Penerima (*Receiver*) ditambah

Sifat kecepatan rambat gelombang elektromagnetis (EM) terhadap batuan/tanah bergantung pada dielektrik, konduktivitas elektrik

dan permeabilitas magnetiknya. Porositas dan kandungan air di dalam tanah sangat berpengaruh terhadap hantaran gelombang EM. Pengukuran georadar mendeteksi pula perbedaan konduktivitas atau kecepatan hantaran gelombang radio pada tanah (Johansson, 1997).

Berdasarkan pengalaman lebih dari 10 tahun penggunaan GPR di Norwegian Geotechnical Institute (NGI), Westerdahl dan Kong (1992) menyatakan instrumentasi ini dapat diterapkan untuk mendapatkan data pada kedalaman dan resolusi yang bervariasi mulai dari es dengan ketebalan 1 km sampai tulangan berdiameter 2 cm dibawah permukaan beton. Pengukuran dilapangan dilakukan untuk mendeteksi lubang-lubang pada gamping, pemetaan pertemuan/batas tanah-batuan dan pemetaan permukaan air tanah. Dalam beberapa kasus, pengukuran GPR menunjukkan hasil yang akurat. Meskipun dalam kasus lainnya, terkadang menunjukkan hasil yang kurang memuaskan. Dalam bidang bangunan air, Johansson (1997) menyajikan penggunaan GPR dengan target rembesan di Bendungan Porjus, Swedia. Pengukuran GPR dapat mendeteksi zona anomali besar yang diinterpretasikan sebagai zona dimana erosi dalam atau kenaikan rembesan terjadi. Hasil ini dapat dijadikan acuan untuk penyelidikan lebih lanjut. Kondisi inti bendungannya pun didapatkan melalui pengukuran GPR.

Secara garis besar peralatan yang digunakan dalam pengukuran di Bendung Pasarbaru adalah tipe "*Subsurface Interface Radar*" terdiri dari Georadar unit *GSSI Inc. SIR System* (ex-USA), antena 100 MHz dengan kemampuan kedalaman sampai 25 m. Pemrosesan data dilakukan dengan perangkat lunak *RADAN 2-D* (S/N : 6030).

Cara menggerakkan antena dipermukaan tanah dilakukan dengan ditarik oleh tangan, kecepatan yang stabil dan jika memungkinkan dengan menggunakan roda pendorongnya.

## METODOLOGI

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dengan metode georadar. Dalam metode ini dilakukan perekaman pantulan sinyal gelombang elektromagnetik (EM) yang dipancarkan kedalaman tanah.

### 1 Persamaan Matematis dalam Gelombang EM

Persamaan matematis yang digunakan untuk gelombang EM adalah persamaan Maxwell dalam dominan frekuensi (ITB, 2000), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \nabla \times E &= -\frac{vD}{\partial t} & 2) \\ \nabla \times H &= j + \frac{vD}{\partial t} & 3) \\ \nabla \times D &= q & 4) \\ \nabla \times B &= 0 & 5) \end{aligned}$$

Keterangan:

- $E$ , medan listrik (Volt/m)
- $B$ , fluks atau induksi magnetik (Weber/m<sup>2</sup> atau Tesla)
- $H$ , medan magnet (Ampere/m)
- $j$ , rapat arus (Ampere/m<sup>2</sup>)
- $D$ , perpindahan listrik (Coulomb/m<sup>2</sup>)
- $q$ , rapat muatan listrik (Coulomb/m<sup>2</sup>)

Sementara persamaan yang menghubungkan sifat fisis medium dengan medan yang timbul pada medium tersebut, dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} B &= \mu H & 6) \\ D &= \epsilon E & 7) \\ j &= \sigma E = \frac{E}{\rho} & 8) \end{aligned}$$

Keterangan:

- $\mu$ , permeabilitas magnetik
- $\epsilon$ , permivitas listrik (Farad/m)
- $\sigma$ , konduktivitas (Ohm<sup>-1</sup> atau Siemens/m)
- $\rho$ , tahanan jenis (Ohm.m)

Sifat fisik medium diasumsikan homogen isotropis, maka persamaan Maxwell menjadi:

$$\begin{aligned} \nabla \times E &= -\mu \left( \frac{\partial H}{\partial t} \right) & 9) \\ \nabla \times H &= \sigma E + \epsilon \left( \frac{\partial E}{\partial t} \right) & 10) \\ \nabla \times E &= 0 & 11) \\ \nabla \times H &= 0 & 12) \end{aligned}$$

dengan menggunakan operasi Curl pada persamaan - persamaan diatas, juga menggunakan vektor identitas:

$\nabla \times \nabla \times Y = \nabla \nabla \cdot Y - \nabla^2 Y$ , maka persamaan gelombang untuk medan magnet dan medan listrik adalah:

$$\nabla^2 \times E = \mu \left( \frac{\partial E}{\partial t} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \right) \quad 13)$$

$$\nabla^2 \times H = \mu \left( \frac{\partial H}{\partial t} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \right) \quad 14)$$

Untuk memperkirakan kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang EM digunakan besaran *skin depth*. *Skin depth* adalah suatu besaran yang menyatakan kedalaman pada suatu medium homogen dimana amplitudo gelombang elektromagnetik telah berkurang menjadi  $1/e$  dari amplitudonya di permukaan bumi, dinyatakan sebagai:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\sigma\omega}}; \mu = \mu_0 = 1,256 \times 10^{-6} \text{H/m} \quad 15),$$

2) maka

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad 16)$$

Keterangan:

- $f$ , frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz)
- $\rho$ , resistivitas medium homogen (Ohm.m)
- $\delta$ , skin depth (m)

Perlu diingat, bahwa gelombang yang tiba pada suatu bidang batas, pada umumnya akan mengalami pemantulan dan pembiasan serta pembauran gelombang.

Dalam pengambilan data GPR, terdapat beberapa syarat agar didapatkan data dengan memiliki kualitas yang baik yaitu dengan menerapkan persamaan radar, sebagai berikut:

$$P_r = P_t K_{g1} K_{g2} R_t A_r L_{p1} L_{p2} \quad 17)$$

Keterangan:

- $P_r$ , daya kembalinya sinyal pada penerima
- $P_t$ , daya pemancaran (radiasi) gelombang dari antena
- $K_{g1}$ , rapat daya pada medan radiasi yang disebabkan oleh geometri spreading
- $K_{g2}$ , merupakan reduksi rapat daya pada refleksi gelombang elektromagnetik
- $R_t$ , reflektivitas target
- $A_r$ , luas efektif dari antena penerima yang menentukan betapa besarnya energi yang dapat berubah pada sinyal output
- $L_{p1}$ , atenuasi dari medan radiasi yang merambat melalui lossy medium
- $L_{p2}$ , merupakan atenuasi dari medan refleksi seperti pengulangan sepanjang lintasan dari target ke penerima

## 2 Prinsip Kerja Georadar

Pada dasarnya GPR bekerja dengan memanfaatkan pantulan sinyal. Sistem GPR memiliki pemancar (*transmitter*), dengan antena yang terhubung ke generator sinyal, dan penerima (*receiver*), dengan antena yang terhubung ke unit pengolahan sinyal. Pemancar akan menghasilkan sinyal radio (EM) dengan bentuk, *prf* (*pulse repetition frequency*), energi dan durasi tertentu. Antena memancarkan pulsa ke dalam tanah. Kekuatan sinyal akan mengalami pengurangan dan cacat sinyal lainnya selama perambatannya di tanah. Jika tanah bersifat homogen, maka sinyal yang dipantulkan akan sangat kecil. Jika sinyal mengenai suatu materi obyek yang inhomogenitas di dalam tanah, maka sinyal akan dipantulkan ke antena penerima dan sinyal ini kemudian diproses oleh penerima (ITB, 2000).

## 3 Sistem Peralatan Digital Georadar

Sinyal dihasilkan oleh generator sinyal (*Source & Modulation*), kemudian dipancarkan

melalui antenna pemancar (*Transmitted Signal*). Sinyal mengenai objek dan akan dipantulkan kembali (*Reflected Signal*) ke antenna penerima (*Receiver*), dapat dilihat pada Gambar 5 dan melewati proses *sampling* serta pengolahan hasil *collect data* disimpan (*Data Storage*). Kemudian sinyal-sinyal di proses (*Signal Processing*) memasuki tahap *display*, dimana dapat melihat citra hasil survei dan terakhir pengolahan data yang berupa *A-Scan*, *B-Scan*, maupun *C-Scan* sehingga didapatkan informasi mengenai objek yang terdeteksi.

Hasil Citra bawah permukaan digambarkan secara dua dimensi (2D) dalam bentuk amplitudo gelombang (*Radargram Display*). Amplitudo ini mencerminkan perubahan cepat rambat gelombang pada benda terpendam maupun sedimen penutupnya. Material yang dipendam mempunyai cepat rambat gelombang yang lebih tinggi dibandingkan sedimen penutupnya. Tampilan profil yang tampak dilayar monitor berupa irisan suatu lapisan demi lapisan seperti kue lapis legit yang disayat vertikal. Bila di

sepanjang garis penyisiran terdapat rongga atau obyek tertentu, akan tampak perbedaan nyata pada citra berbeda rona atau kontras.

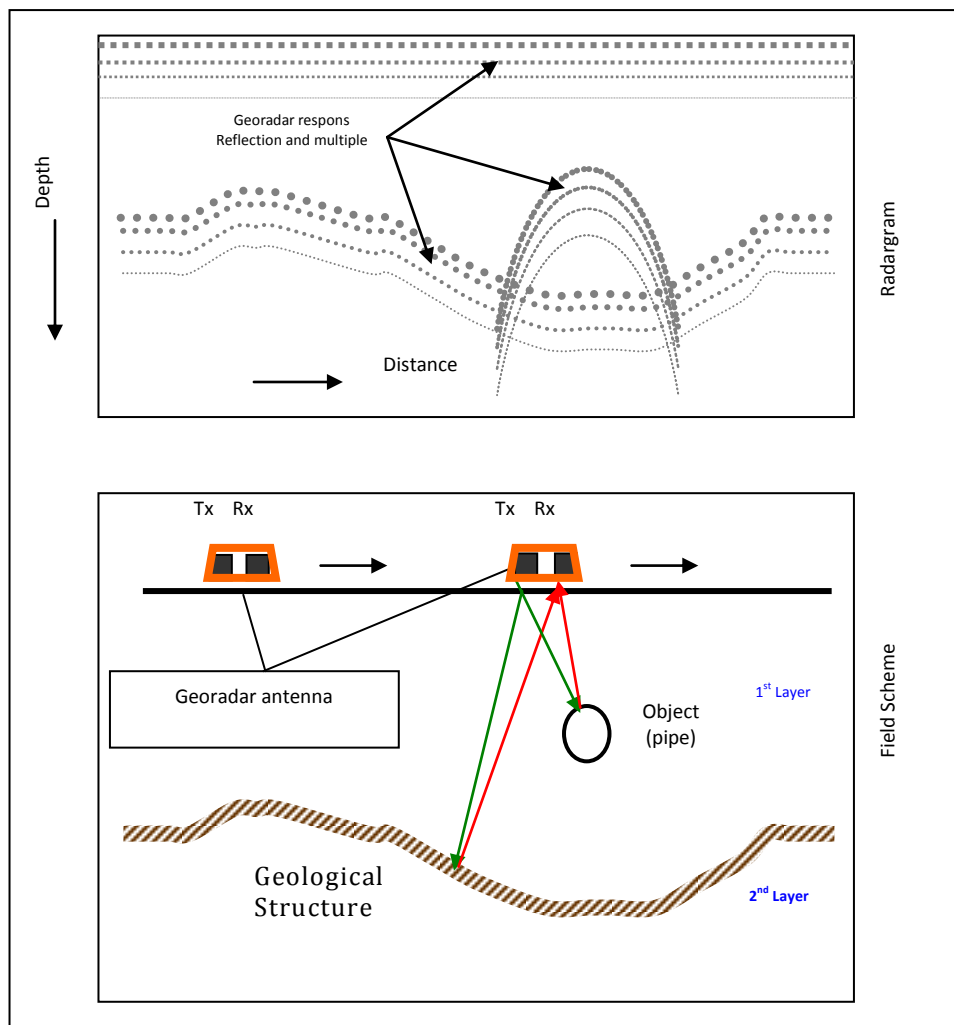
#### 4 Proses Pengolahan Data Georadar

Langkah-langkah dalam pengolahan data survei GPR dengan menggunakan *software* RADAN (*RA*dar *D*ata *A*nalyzer) adalah sebagai berikut:

- 1) *Stacking*, untuk melihat kedudukan struktur bawah permukaan secara jelas dengan mendudukan keadaan sinyal yang direkam.
- 2) *Filtering*, bertujuan menghilangkan *noise background* yang tidak diinginkan.

Analisis kecepatan adalah untuk menentukan kecepatan gelombang pada material bawah permukaan, kemudian mengubah *travel time* ke kedalaman (Yulius dkk, 2008). Analisis ini dilakukan dengan pengujian konstanta dielektrik relatif dan menggunakan persamaan 18 berikut:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \tag{18}$$



Gambar 5 Prinsip kerja dasar pengukuran Georadar (Untoro, 2011)

Keterangan:

- $v$ , Cepat rambat energi elektromagnet pada material
- $c$ , Cepat rambat cahaya
- $\epsilon_r$ , Konstanta dielektrik relatif, dapat dilihat pada Tabel 1

Lalu kedalaman tiap refleksi di bawah permukaan ditentukan dari persamaan 19 berikut:

$$d_r = \frac{vt_r}{2} \quad 19)$$

Keterangan:

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

- 3) Migrasi, prosedur untuk mengubah permukaan yang telah terekam pada posisi yang benar.
- 4) *Wiggle*, prosedur untuk menampilkan daya hantar listrik (elektrokonduktivitas) dalam pencitraan georadar yang terdiri dari reflektor yang kuat (*strong*) sampai lemah (*weak*) tergantung sifat fisik suatu batuan yang berada di lapisan bawah permukaan. Proses ini menggambarkan kondisi gelombang didalam stratigrafi atau suatu tatanan urutan perlapisan batuan berdasarkan sekuen (batas reflektor). Plot berguna untuk mengidentifikasi kondisi geologi bawah permukaan, seperti lempung atau cadangan air tanah dangkal.

Pengukuran georadar akan memberikan hasil berupa radargram yang menggambarkan perbedaan pantulan sinyal diakibatkan oleh adanya variasi jenis tanah/batuan/fluida. Seperti rembesan air yang tercerminkan dari nilai

konduktansi/kapasitansi yang berbeda bila dibandingkan dengan lapisan yang homogen. Perbedaan konduktansi dan kapasitansi tersebut, maka sifat kecepatan penjarangan gelombang EM georadar yang berbentuk sebagai *displacement current* akan menghasilkan nilai amplitudo yang berbeda pula. Semua sifat pengurangan (atenuasi), pantulan (refleksi) maupun berpecah (dispersi) sinyal yang melaluinya akan menunjukkan perbedaan struktur bawah permukaan.

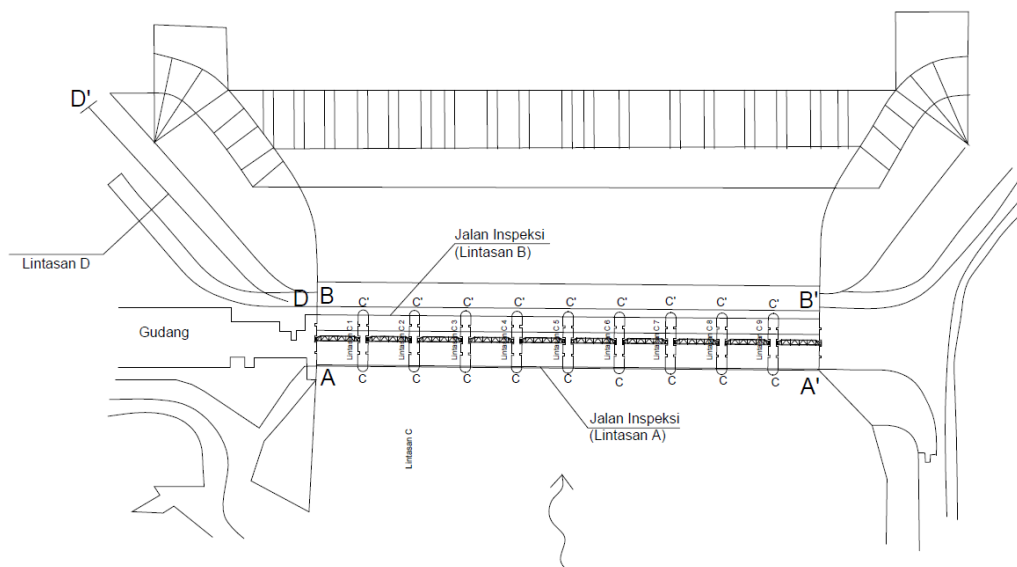
Sementara warna dalam skala, dengan variasi intensitas putih, kuning, merah abu-abu dan hitam yang cukup kontras menunjukkan perbedaan struktur perlapisan bawah permukaan yang kontras pula, baik perbedaan jenis tanah/batuan maupun tingkat kepadatan atau densitasnya. Bila ada citra yang berwarna putih secara menerus ataupun spot-spot, dapat diinterpretasikan sebagai tanda adanya fluida.

**PELAKSANAAN PENGUKURAN**

Sebelum memulai pengukuran menggunakan georadar atau GPR, dengan target yang sudah ditentukan, maka proses pengumpulan data diawali dengan menentukan lintasan pada daerah yang akan diukur, sebagai berikut:

**1) Menentukan lintasan yang akan diukur.**

Lintasan yang akan diukur di bendung ini dibagi dalam 2 (dua) jalur. Lintasan memanjang adalah sepanjang jalan inspeksi bendung (A - B) dan sayap kanan (D), sementara lintasan melintang adalah jalan antar kolom (C). Secara lengkap sketsa dan kondisi lintasan memanjang dan melintang dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6** Sketsa Lintasan Pengukuran Georadar di Bendung Pasarbaru



**2) Menentukan Jarak Antar Titik Pengukuran**

Pada pengukuran ini, di setiap lintasan diambil jarak antar titik adalah setiap 5 (lima) meter mulai dari titik awal. Setelah mendapat lokasi titik-titik yang akan ditinjau pada setiap lintasannya, di titik tersebut diberikan tanda agar memudahkan dalam pengukuran.

**3) Menentukan Koordinat Titik Pengukuran**

Titik-titik yang diberi tanda tersebut, kemudian ditentukan lokasi koordinatnya untuk setiap titik dengan menggunakan alat GPS. Hasil koordinat GPS ini akan digunakan untuk bahan pengolahan data.

**4) Instalasi Georadar**

Setelah langkah-langkah tersebut diatas, kemudian dilakukan instalasi alat Georadar (Gambar 7). Antena GPR yang digunakan adalah 100 MHz.



**Gambar 7** Proses instalasi peralatan pengukuran, georadar.

**5) Pelaksanaan Pengukuran Georadar**

Setelah selesai tahapan 1 sampai dengan 4, kemudian dilakukan pengukuran yang sesuai dengan rencana. Pelaksanaan pengukuran georadar di tubuh bendung dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



**Gambar 8** (a-d) Proses pengukuran georadar di tubuh bendung pada arah memanjang.



c.



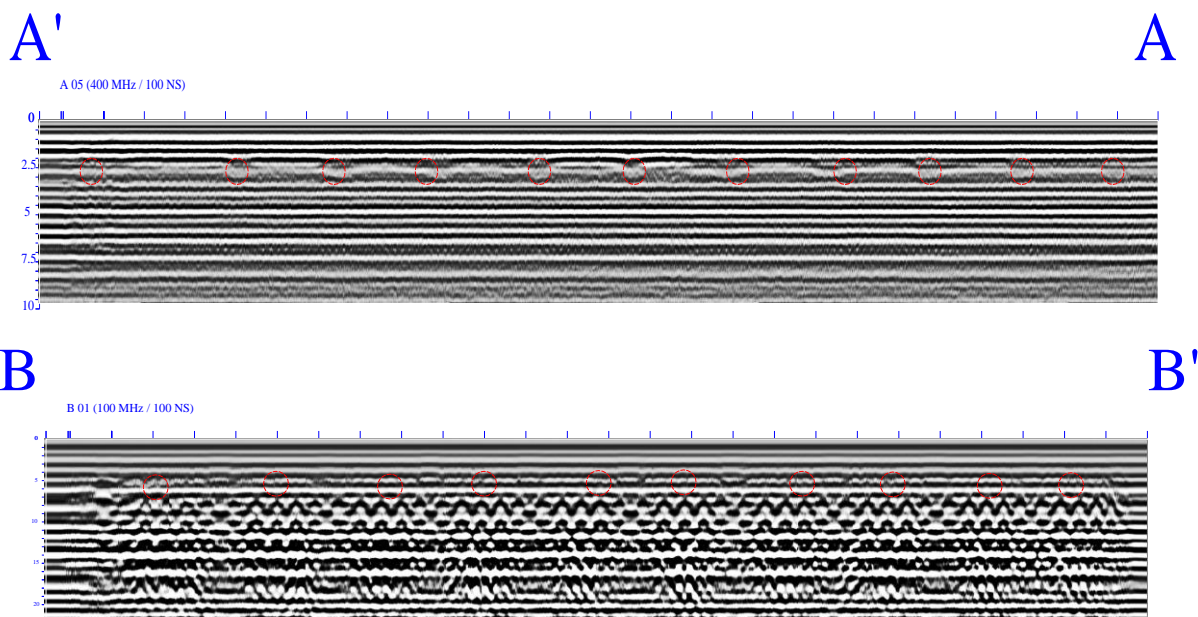
**Gambar 9** (a-c) Proses pengukuran georadar di tubuh bendung pada arah melintang.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

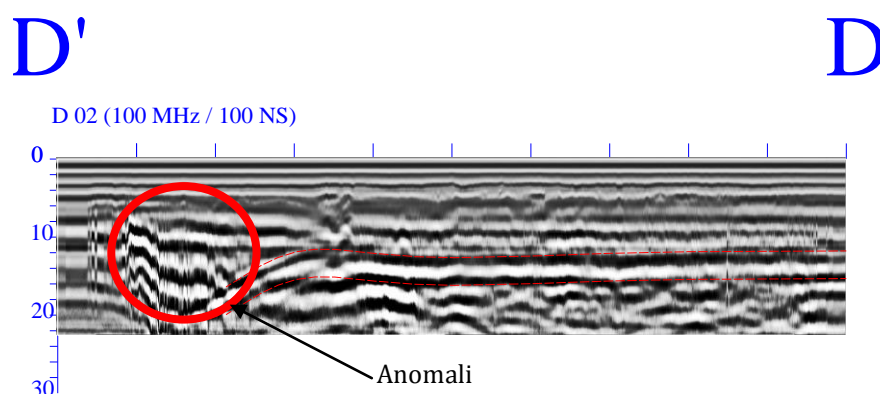
Pengukuran georadar di Bendung Pasarbaru memberikan hasil berupa radar gram. Radargram tersebut menggambarkan sinyal yang diakibatkan oleh adanya variasi jenis tanah/batuan/fluida seperti rembesan air tercerminkan pada nilai konduktansi/kapasitansi yang berbeda bila dibandingkan dengan lapisan yang homogen. Dengan sifat-sifat yang berbeda tersebut, maka sifat kecepatan penjaralan gelombang EM georadar yang berbentuk sebagai *displacement current* akan menghasilkan nilai amplitudo yang berbeda pula. Semua sifat atenuasi, refleksi maupun dispersi sinyal yang melaluinya juga menunjukkan perbedaan struktur bawah permukaan.

Sementara warna dalam skala, dengan variasi intensitas putih, kuning, merah abu-abu dan hitam yang cukup kontras menunjukkan perbedaan struktur per lapisan bawah permukaan yang kontras pula, baik perbedaan jenis tanah/batuan maupun tingkat kepadatan atau densitasnya. Bila ada citra yang berwarna putih baik menerus ataupun spot-spot, dapat diinterpretasikan sebagai tanda adanya fluida. Hasil pengukuran georadar di bagian tubuh bendung, pada lintasan A dan lintasan B (arah memanjang) dapat dilihat pada Gambar 10 dan pada lintasan D (arah memanjang) dapat dilihat pada Gambar 11 serta lintasan C (arah melintang) pada Gambar 12.

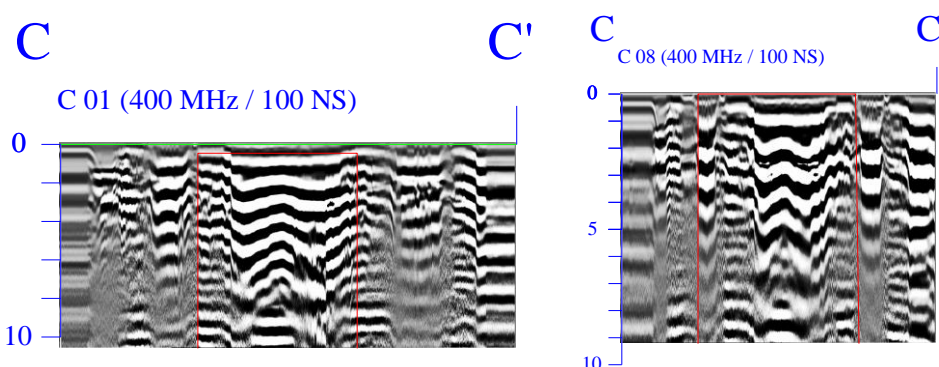
Gambar 10 menunjukkan hasil pengukuran georadar pada lintasan memanjang A dan lintasan B dengan kedalaman pengukuran masing-masing adalah 10m dan 20m. Lingkaran kecil didalam radargram A dan B adalah posisi pilar yang dilalui saat sedang pengukuran kearah memanjang. Lintasan memanjang A tidak memperlihatkan adanya anomali yang ekstrim, kecuali respon gelombang yang sedikit tidak jelas karena adanya pengaruh dari air. Sementara pada lintasan memanjang B, respon gelombang berbentuk tajam diperkirakan akibat dari struktur beton bendung yang mengandung kawat baja. Pada lintasan ini pula, tidak ditemukan adanya anomali yang ekstrim.



**Gambar 10** Hasil pengukuran georadar di tubuh bendung pada arah memanjang lintasan A dan lintasan B. Sumbu/arah X adalah panjang lintasan (m) dan sumbu/arah Y adalah kedalaman (m).



**Gambar 11** Hasil pengukuran georadar di tubuh bendung pada arah memanjang lintasan D. Sumbu/arah X adalah panjang lintasan (m) dan sumbu/arah Y adalah kedalaman (m).



**Gambar 12** Hasil pengukuran georadar di tubuh bendung pada arah melintang. Sumbu/arah X adalah panjang lintasan (m) dan sumbu/arah Y adalah kedalaman (m).

Khusus pada lintasan memanjang D (Gambar 11) yang merupakan perpanjangan lintasan B, dapat kita kenali daerah pertemuan struktur bendung dengan batas timbunan tanah aslinya (garis lurus). Terdapat anomali yang dapat dikenali pada lintasan D, dikedalaman sekitar 14m - 22m. Anomali tersebut berlokasi di bagian kiri hilir, dekat daerah pertemuan timbunan tanah dengan struktur bendung.

Gambar 12 menunjukkan hasil pengukuran georadar pada lintasan melintang C dengan kedalaman pengukuran 10m. Batas garis merah menunjukkan daerah limpasan yang terbuat dari beton. Refleksi gelombang tidak beraturan karena adanya pengaruh dari air dan tidak ada anomali yang ekstrim di daerah ini.

Hasil pengukuran georadar di Bendung Pasarbaru, pada arah memanjang (jalan inspeksi pada lintasan A dan lintasan B) dan arah melintang (pilar dan bidang luncur pada lintasan C) tidak memperlihatkan adanya anomali di bagian tubuh

bendung. Sementara pada lintasan memanjang D (bagian pertemuan timbunan-beton), terindikasi adanya anomali. Anomali bisa jadi merupakan rembesan, namun kepastiannya bisa didapatkan dengan melakukan pengeboran pada lokasi anomali berada atau menggunakan metoda geofisika lainnya yaitu geolistrik.

## KESIMPULAN

Dalam penelitian kondisi bawah permukaan Bendung Pasarbaru, Tangerang dari hasil pengukuran georadar pada tubuh bendung sebanyak 3 lintasan memanjang dan 9 lintasan melintang, dapat disimpulkan bahwa:

Hasil citra georadar menunjukkan pada lintasan arah memanjang (A dan B) dan melintang (C) dengan kedalaman sampai dengan 20m, variasi intensitas tidak menunjukkan kontras yang ekstrim atau anomali di tubuh bendung. Kondisi bawah permukaan bendung relatif homogen yang

ditunjukkan tidak adanya perbedaan amplitudo, karena tidak adanya perbedaan kepadatan.

Ditemukan adanya anomali yang diduga indikasi rembesan pada lintasan D yang merupakan perpanjangan dari lintasan memanjang B di kedalaman sekitar 14m - 22m. Anomali ini, perlu dilakukan pengujian yang berupa pengeboran uji.

Hasil interpretasi georadar untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Perlu didukung dengan analisa gabungan hasil evaluasi monitoring pada lokasi dan hari pengukuran serta data sekunder maupun uji in-situ.

Metoda georadar merupakan salah satu cara untuk pemetaan kondisi bawah permukaan, sebelum dilaksanakannya penelitian detail atau bila tidak tersedia data sekunder. Sehingga kondisi bangunan air yang tidak dilengkapi dengan instrumentasi monitoring, dapat diketahui kondisi bawah permukaannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Assad, Fakhry A., James W. LaMoreaux dan Travis Hughes. 2004. *Field Methodes for Geologist and Hydrogeologists*. Springer. Germany. Pp 59-60.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Air (DPMA). 1977. *Laporan Hasil Penyelidikan Hidrolis Dengan Model Bendung Gerak Pasar Baru Cisadane - Jawa NO.P.439*. Bandung.
- Geophysical Survey Systems, Inc. (GSSI). 2003. *TerraSIRch SIR System-3000*. User's Manual. New Hampshire.
- Institut Teknologi Bandung (ITB). 2000. *Modul Praktek Laboratorium Geofisika, Metoda Goeradar*. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. Bandung.
- Johansson, Sam. 1997. *Seepage Monitoring in Embankment Dams*. Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm.
- Kirsch. 2006. *Groundwater Geophysics. A Tool For Hydrogeology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006. Printed in Germany. Pp 227-250, 402-412, 476-478.
- Murwanto, Eko Joko, 2011. *Aplikasi Teknologi Ground Penetrating Radar (GPR) Untuk Deteksi Struktur Tanah / Batuan Dan Material Terpendam*. Website Badan Penelitian Dan Pengembangan Kementerian Pertahanan RI: <http://www.balitbang.kemhan.go.id/?q=content/aplikasi-teknologi-ground-penetrating-radar-gpr-untuk-deteksi-struktur-tanah-batuan-dan-mate>. Diakses: 18 Maret 2014, jam 15.50 WIB.
- Telford, 1976, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London - New York - Melbourne. Pp 442-457
- Untoro, 2011. *Aplikasi Georadar*. Bahan Presentasi Pertemuan. Tidak dipublikasikan.
- Westerdahl, H. dan F. N. Kong, 1992. *Merits And Potential Of Georadar As A Subsurface Investigation Tool - Experience At NGI During The Past Ten Years*. Annual Meeting Of Sageep, Chicago.
- Yulius, Yudi M., Yuyu Wahyu dan Folin Oktafiani, 2008. Studi Pemrosesan dan Visualisasi Data Ground Penetrating Radar. *Jurnal Informatika, Sistem Kendali dan Komputer*. Vol. 2, No. 1. P-ISSN 1979-8059. e-ISSN 2302-6146. LIPI. Bandung.