

## GEOFISIKA DAN LINGKUNGAN PERAIRAN

Wahyudi W. Parnadi

Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10 Bandung 40135 Telp./Fax: 022 – 2509 168  
E-mail: wahyudi@gf.itb.ac.id

### ABSTRAK

*Geofisika yang digunakan untuk memecahkan masalah-masalah lingkungan atau disebut juga geofisika lingkungan didefinisikan sebagai penerapan metode-metode geofisika untuk menyelidiki fenomena fisik-kimiawi di dekat permukaan, yang mungkin mempunyai arti yang besar untuk pengelolaan lingkungan sekitar, termasuk lingkungan-lingkungan darat dan perairan darat. Sebagai suatu alat pencitra bawah permukaan yang non invasif dan cepat, geofisika digunakan untuk mempertinggi daya guna dan ketepatan eksplorasi bawah permukaan. Geofisik telah digunakan secara luas dalam telaah-telaah rekayasa dan lingkungan, dari telaah untuk mendeteksi dan mengkarakterisasikan rekahan dalam batuan keras, telaah deteksi pencemaran air tanah dekat lokasi pembuangan limbah hingga telaah penentuan luas airtanah dan lingkungan perairan yang tercemar oleh hidrokarbon. Penggunaannya dalam beberapa kasus kadang-kadang hanya untuk mendapatkan data sekunder. Jika pemboran untuk memperoleh informasi bawah permukaan harus dihindari, geofisik mungkin merupakan satu-satunya metode yang cocok untuk memperoleh informasi yang diperlukan. Makalah ini membahas peran geofisika lingkungan, potensi dan batasan penggunaannya dalam memecahkan masalah-masalah lingkungan khususnya masalah lingkungan darat dan perairan darat.*

### ABSTRACT

*Geophysics for solving environmental problem or environmental geophysics is defined as the application of geophysical methods to the investigation of near surface physico-chemical phenomena, which are likely to have significant implications for the management of the local environments, including land and land-water environments. As a quick and non-invasive tool for subsurface imaging, geophysics is used to increase the efficiency and the effectiveness of subsurface exploration. It has found a broad range of use in engineering and environmental telaahes, ranging from detection and characterization of fractures in hard rocks, detection of groundwater contamination near waste disposal sites, to the determination of the extent of hydrocarbon contamination in groundwater and water environment. Its use in some cases is sometimes a luxury, not a requirement. When drilling to obtain subsurface information must be avoided, it is probably the only appropriate method to extract the information needed. This paper describes the role of environmental geophysics, its potential and limitation in solving environmental problems especially of land as well as land water environment.*

### PENDAHULUAN

Geofisika diartikan sebagai penerapan prinsip-prinsip fisika untuk mempelajari bumi. Secara umum geofisika adalah telaah tentang bumi melalui metode-metode fisika kuantitatif seperti metode-metode refleksi dan refraksi seismik, gravitasi, elektrik, elektromagnetik dan radio-aktivitas. Beberapa teknik telah menemukan tempatnya sebagai metode baku dalam suatu eksplorasi, misalnya metode seismik untuk eksplorasi minyak dan elektromagnetik untuk pencarian mineral-mineral logam.

Dalam beberapa dekade ini berkembang penggunaan geofisika untuk memecahkan masalah-masalah lingkungan. Telaah khusus ini selanjutnya disebut geofisika lingkungan yang didefinisikan sebagai penerapan metode-metode geofisika untuk menyelidiki fenomena fisik-

kimiawi di dekat permukaan, yang kemungkinan besar mempunyai arti yang besar untuk pengelolaan lingkungan sekitar, termasuk lingkungan-lingkungan darat dan perairan darat (Reynold, 1997).

Metode geofisika bekerja berdasarkan kontras harga sifat-sifat fisik yang dimiliki material geologi. Tabel 1. berikut menunjukkan beberapa metode geofisika dan sifat fisik yang digunakan:

Tabel 1. Metode Geofisika dan sifat fisik yang digunakan

Metode Geofisika	Sifat fisik
Gravitasi	Densitas
Magnetik	Suseptibilitas magnetik
Seismik refraksi	Modulus elastisitas, densitas
Seismik refleksi	Modulus elastisitas, densitas
Geolistrik	Resistivitas
Elektromagnetik	Konduktivitas, induktansi
Georadar	Konstanta dielektrik
Magnetotelurik	Resistivitas

Sumber: Reynolds (1997)

Dalam makalah ini akan dibahas beberapa metode yang prinsipnya mudah untuk dimengerti yaitu geolistrik, seismik dan georadar. Tabel 2 menunjukkan harga kecepatan gelombang seismik primer pada beberapa material geologi. Secara umum, semakin keras dan padat suatu material, semakin besar harga kecepatan gelombang seismik ( $V_p$ ) yang menjalar padanya.

Tabel 2. Harga kecepatan gelombang seismik primer pada beberapa material

Material	$V_p$ (m/s)
Air	1450 - 1530
Tanah	100 - 500
Humus	300 - 600
Lempung	1000 - 2500
Lumpur/lempung danau	300 - 1800
Aluvium sungai	1800 - 2200
Batu garam	4000 - 5500
Gneis	3500 - 7600
Granit	4600 - 6200

Sumber: Reynolds (1997)

Sifat kelistrikan batuan ditunjukkan oleh resistivitas ( $\rho$ ) dan konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) (Tabel 3). Resistivitas adalah kebalikan dari konduktivitas ( $\sigma$ ) yang merupakan ukuran kemampuan suatu material menahan arus listrik yang mengalir padanya. Resistivitas ini digunakan pada metode geolistrik. Pada metode georadar, besaran fisik yang utama digunakan adalah konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) dan kecepatan gelombang elektromagnetik ( $V$ )

Tabel 3. Harga sifat-sifat kelistrikan beberapa material geologi

Material	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$	V (m/ns)
Udara	$\infty$	1	0,30
Air segar	1000	81	0,03
Air laut	0,3	81	0,03
Pasir kering	10000	5	0,13
Pasir basah	100	30	0,05
Tanah kelanauan kering	9000	2,5	0,19
Tanah kelanauan basah	50	19	0,07
Tanah kelepungan, kering	9000	2,5	0,19
Tanah kelepungan, basah	50	19	0,07
Granit basah	1000	7	0,11
Batupasir basah	25	9	0,10

Sumber: Forkmann (1989)

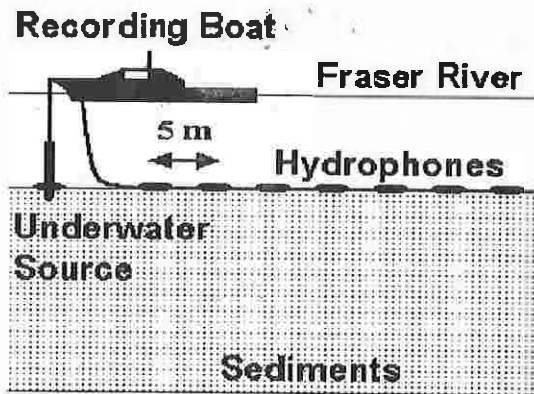
Kontras resistivitas antara air laut dan air tawar besar sekali (Tabel 3) yang berarti bahwa batas antara keduanya bisa dipetakan dengan jelas menggunakan metode yang menggunakan sifat kelistrikan ini, yaitu metode geolistrik dan georadar. Metode seismik sulit menduga batas ini karena kecilnya kontras densitas dan modulus elastisitas dua material tersebut yang ditunjukkan melalui harga kecepatan gelombang seismiknya.

Metode-metode geofisika telah berhasil diterapkan pada kasus-kasus: deteksi dan karakterisasi rekahan dalam batuan keras, deteksi pencemaran luas air tanah dan lingkungan yang tercemar oleh hidrokarbon, deteksi dan karakterisasi pencemaran air tanah dekat lokasi pembuangan limbah, telaah lingkungan perairan laut, deteksi pencemar organik dalam zona peralihan, pemetaan luas daerah tercemar sianida, pemetaan air laut dan air termineralisasi serta telaah pemetaan biologis

## METODE-METODE GEOFISIKA

### Metode seismik

Dalam eksplorasi seismik di laut, gelombang seismik dipancarkan oleh suatu sumber yang berupa tekanan ke dalam air. Gelombang menjalar ke bawah permukaan dan setiap menyentuh bidang batas antar material yang berbeda akan direfleksikan ke atas atau ditransmisikan ke bawah. Refleksi gelombang ditangkap oleh suatu alat penangkap yang disebut hidrofons (gambar 1). Pada survei di darat, alat semacam itu disebut geofon.



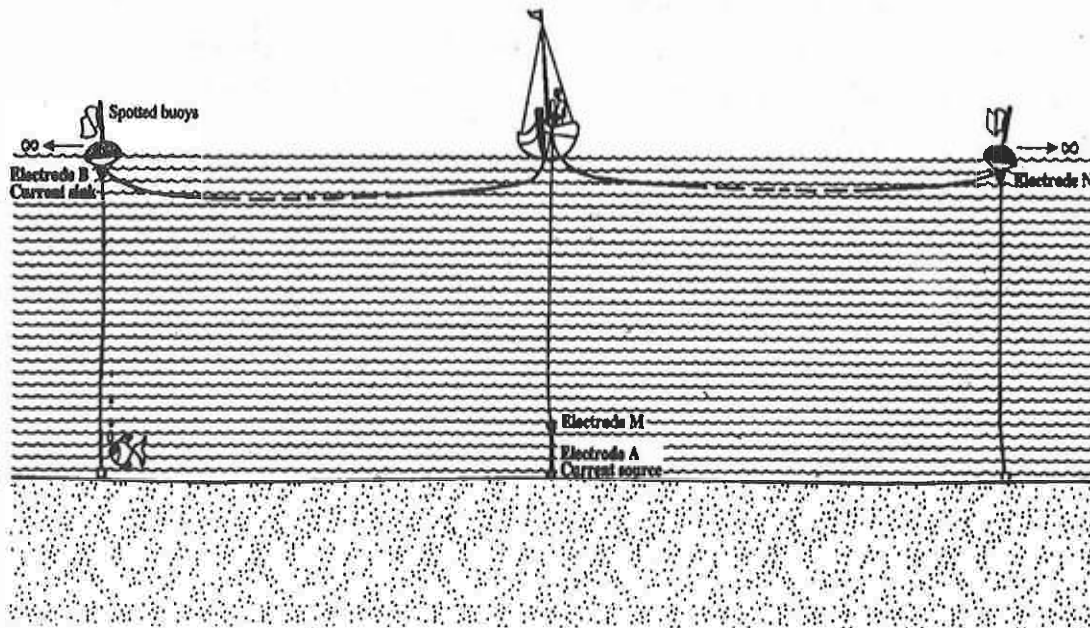
Gambar 1. Survei seismik di perairan

**Metode georadar**

Survei georadar pada prinsipnya sama dengan survei seismik, hanya gelombang yang dipancarkan oleh sumber adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tertentu. Hasil survei dengan georadar ditunjukkan melalui citra georadar yang disebut radargram. Pemrosesan data pada georadar pada umumnya tidak terlalu rumit seperti pada pemrosesan data seismik, hanya pada beberapa kasus, penafsiran datanya bisa lebih sulit dilakukan daripada penafsiran data seismik.

**Metode geolistrik**

Pada metode geolistrik, survei di perairan dilakukan seperti pada gambar 2. Arus diinjeksikan melalui elektroda arus (A) dan beda potensial yang diukur antara elektroda potensial M



Gambar 2. Survei geolistrik di perairan

dan N digunakan untuk menduga distribusi resistivitas pada bawah permukaan. Pemberian arus dan pembacaan hasil diatur melalui alat yang terletak di dalam perahu atau kapal yang digunakan. Kontak yang baik antara elektroda-elektroda dengan dasar sungai harus dilakukan untuk terjaminnya distribusi arus ke material geologi dibawahnya.

Dikenal juga metode *invasive* dalam geofisik yaitu metode geofisika lobang bor. Prinsip-prinsip pengukuran sifat fisik di permukaan dilakukan pada lubang bor melalui alat yang disebut sonde.

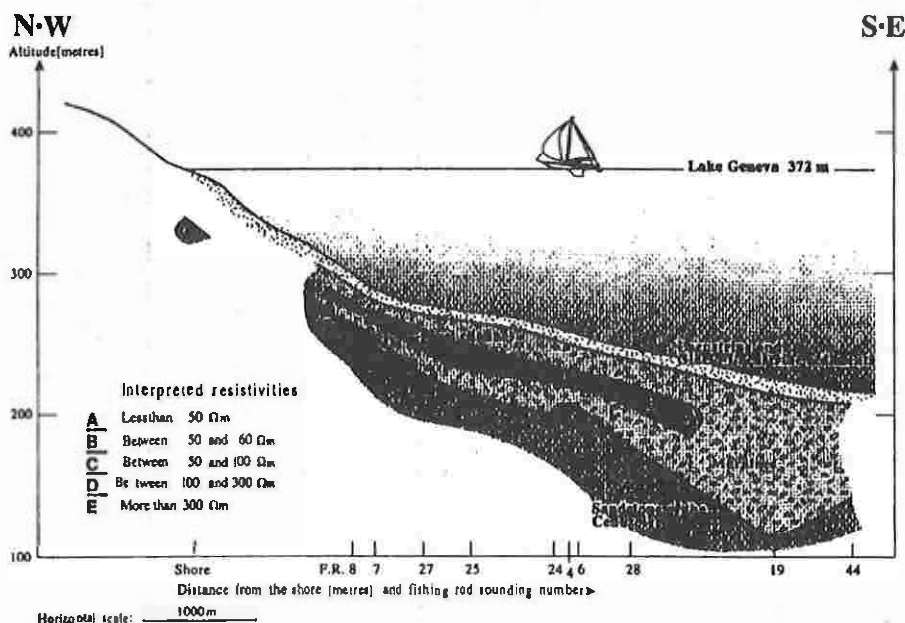
## PENERAPAN GEOFISIKA DALAM MASALAH LINGKUNGAN

### Kasus Perembesan Asam

Lokasi timbunan limbah berbahaya yang tidak sesuai berarti resiko tinggi untuk lingkungan. Metode citra geolistrik berhasil diterapkan untuk memberikan citra adanya "plum" asam di bawah tanah yang berasal dari lumpur yang mengandung minyak yang tercampur dengan asam sulfur pada lokasi pembuangan limbah di Jonkoping, Swedia. Pelindung dan lapisan dasar permeabel di bawahnya yang tidak memadai menyebabkan rembesnya asam ke sekitar dan ke anak sungai di dekatnya. Pemboran untuk mengetahui kondisi bawah permukaan pada daerah tersebut akan sangat berbahaya karena pemboran yang menembus lapisan permeabel dan rekah-rekahan dapat menyebabkan merembesnya pencemar tersebut dan mencemari air tanah.

### Pendugaan Lingkungan Sungai

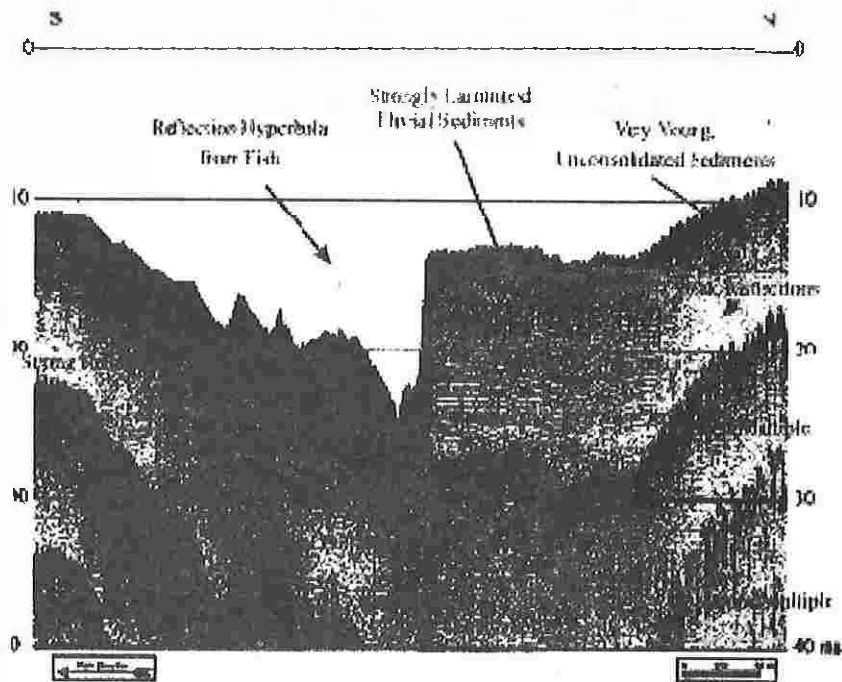
Gambar 3 memperlihatkan citra satu bagian penampang danau Jenewa di Swiss hasil dari penafsiran data geolistrik. Litologi ditunjukkan melalui harga-harga resistivitasnya. Endapan sungai jelas diperlihatkan yang mempunyai harga resistivitas cukup tinggi.



Gambar 3. Bagian dari penampang danau Jenewa (Habrar, 1998)

### Telaah Lingkungan Sungai

Pendugaan kondisi satu sungai di Amerika Serikat berhasil dilakukan dengan metode seismik (Habrar, 1998). Pada gambar 4 terlihat juga refleksi berbentuk hiperbola didalam sungai akibat dari kumpulan ikan. Bagian curam ditengah gambar menunjukkan dasar sungai yang terjal. Penampang seismik tersebut berupa penampang jarak dan waktu yang dapat diubah menjadi penampang jarak dan kedalaman.



Gambar 4. Penampang seismik suatu sungai

### Telaah Lingkungan Multi Disiplin

Geofisik perlu dilibatkan dalam telaah lingkungan yang multi disiplin. Sebagai contoh adalah telaah lingkungan di Amerika Serikat ketika kadar merkuri dan bahan-bahan lain yang berbahaya mencemari sebagian sungai dan danau. Merkuri adalah "human carcinogen", yang berarti bisa menyebabkan penyakit kanker. Kadar bahan-bahan beracun dan berbahaya (B3) yang diperbolehkan oleh badan berwenang ditunjukkan pada tabel 4. Mengingat batas kadar tersebut di beberapa sungai di Indonesia sudah jauh dilampaui, telaah lingkungan multidisiplin yang melibatkan geofisika perlu dilakukan. Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa bahan-bahan tersebut mempunyai resistivitas yang sangat kecil atau bahan bersifat sangat konduktif. Material geologi dengan kandungan bahan berbahaya yang besar akan memperlihatkan kontras resistivitas yang besar pada data hasil metode geolistrik.

Tabel 4. Batas maksimum kadar bahan berbahaya yang diperbolehkan

Bahan	Air minum*	Makanan**
Hg	2 ppb	1 ppm
Cd	5 ppb	15 ppm
Pb	15 µg/l	-
Cr	100 µg/l	-
Ni	0,04 mg/l	-

\* menurut EPA (*Environmental Protection Agency*)

\*\* menurut FDA (*Food and Drug Administration*)

Tabel 5. Daftar harga resistivitas bahan berbahaya dibandingkan dengan air

Bahan	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
Air segar	1000
Air laut	0,3
Nikel (Ni)	$6,3 \times 10^{-8}$
Cadmium (Cd)	$15,3 \times 10^{-8}$
Chromium (Cr)	$6,7 \times 10^{-8}$
Timbal (Pb)	$19 \times 10^{-8}$
Merkuri (Hg)	

## KESIMPULAN

Metode geofisika dapat digunakan dan layak dipertimbangkan untuk telaah lingkungan darat dan perairan darat yang multi disiplin serta membantu memecahkan masalah-masalah lingkungan. Metode geofisika merupakan alat dan metode pencitra kondisi bawah permukaan yang efisien dan efektif karena dapat dilakukan dengan cepat, non invasive. Jika pemboran harus dihindarkan, maka metode geofisika satu-satunya metode yang dapat diterapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Danbom, S., 2002, Environmental geophysics – discussing the differences behind near-surface geophysics: *The Leading Edge*, 21, 65–66.
- Forkmann, B., and Petzold, H., 1989, Prinzip und Anwendung des Gesteinsradars zur Erkundung des Nahbereiches: VEB dt. Verlag f. Industrie, FFB C 432.

- Habrar, S., 2002, Applied geophysics and the environment in Texas: *The Leading Edge*, **21**, 68—69.
- , 1998, Environmental geophysics: what is needed to be successful: *The Leading Edge*, **17**, 813—815.
- Keller, G. V., 1987, Rock and mineral properties, *in* Nabighian, M. N. (Ed.), *Electromagnetic methods in applied geophysics: Soc. Expl. Geophys., Vol. 1 Theory*, 13—51.
- Parnadi, W. W., 2001, Parameter determination from Ground-Penetrating Radar transmission data: PhD thesis, Univ. Freiberg.
- Reynolds, 1997, *An introduction to applied and environmental geophysics*: John Wiley & Sons.