

PEMODELAN TOMOGRAFI *CROSS-HOLE* METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS (Bentuk Anomali Silindris)

Riza Eka Prabowo, Gatot Yuliyanto, M. Irham Nurwidyanto
Laboratorium Geofisika Undip

ABSTRACT

Cross-hole method using an amount of electrode were placed downhole is one of tomography method. Cross-hole tomography method delineate the geological conditions of the earth surface therefore it takes an important rule in the case of anomaly monitoring. The buis concrete planted in subsurface with deepness of about 1 m were used as the source of anomaly. Tomography cross-hole data with configuration such as pole-pole, pole-bipole, bipole-pole and bipole-bipole array were taken with the depth of the borehole is 1,2 m. The space variation of one electrode to another in the hole of drill is 0,2 m, 0,4 m, 0,6 m and 0,8 m for the configuration of pole-bipole, bipole-pole and bipole-bipole. Res2Dinv program obtained the images of bipole-bipole better than the images of other configuration. While the pole-pole configuration had the worst images compared to others. It is caused by two remote electrode of pole-pole array while bipole-bipole array do not have ones.

Key words: cross-hole, tomography, borehole, remote electrode

INTISARI

Cross-hole merupakan salah satu metode dalam tomografi yang menggunakan sejumlah elektroda yang ditempatkan di bawah permukaan pada lubang-bor (borehole). Pengambilan data untuk tomografi cross-hole dengan konfigurasi pole-pole, pole-bipole, bipole-pole dan bipole-bipole. Untuk melihat hasil gambaran anomali dari metode cross-hole digunakan program Res2Dinv. Nilai resistivitas semu terukur kemudian dimasukkan ke dalam program Res2Dinv untuk melihat hasil pemodelan anomali untuk konfigurasi pole-pole, pole-bipole, bipole-pole dan bipole-bipole. Dari hasil pemodelan anomali dengan Res2Dinv diperoleh gambaran bahwa konfigurasi bipole-bipole hasil pemodelannya lebih baik dibanding dengan konfigurasi lainnya dan hasil pemodelan untuk konfigurasi pole-pole yang tidak baik di antara konfigurasi lainnya, terlihat dari nilai error dari program inversi yang digunakan. Hal ini disebabkan karena konfigurasi bipole-bipole tidak memiliki remote electrode dan konfigurasi pole-pole memiliki dua remote electrode.

Kata kunci: cross-hole, tomografi, lubang-bor, remote electrode

Pendahuluan

Tomografi merupakan suatu gambaran dari suatu penampang-lintang dari suatu objek. Tomografi dalam geofisika menggabungkan dua aspek penting analisis geologi yaitu estimasi sifat-sifat geologi dan pencitraan ke dalam satu konsep. Tomografi mempunyai peran penting dalam proses pemantauan anomali, karena dapat menggambarkan kondisi geologi di bawah permukaan bumi. Tomografi digunakan untuk menganalisis sifat-sifat kelistrikan medium yang dilalui, seperti konduktivitas dan resistivitas sehingga dapat mencitrakan prediksi

lapisan bawah permukaan dan sifat-sifat geologi secara visual.

Cross-hole merupakan salah satu metode dalam tomografi yang menggunakan elektroda sumber (titik arus yang diinjeksikan) dan elektroda potensial (titik pengukuran) yang ditempatkan di bawah permukaan pada dua lubang-bor (*borehole*) yang terpisah secara horizontal. Tomografi *cross-hole* ini dapat menghasilkan informasi yang terperinci pada variasi konduktivitas elektrik antara lubang-bor sehingga dapat mendeteksi dan menggambarkan kondisi geologi di antara berbagai penempatan sumber (*source*) dan

penerima (*receiver*). Metode *cross-hole* ini secara luas diterapkan di dalam bidang eksplorasi tambang, arkeologi, teknik sipil dan hidrologi. Di dalam metode ini menggunakan berbagai susunan elektroda arus-potensial, seperti susunan *pole-pole*, *pole-bipole*, *bipole-pole*, *bipole-bipole* (*dipole-dipole*), tergantung pada aspek tujuan dan kondisi geologi permukaan bumi [1].

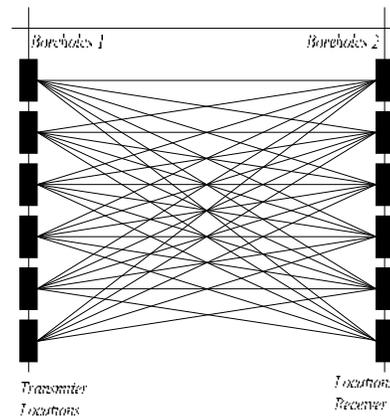
Beberapa tahun terakhir ini, ada perkembangan yang menarik dalam survei elektrik *cross-hole* untuk menampilkan struktur bumi secara 2D dan 3D. Resistivitas tomografi *cross-hole* digunakan untuk merekonstruksi struktur konduktivitas bumi menggunakan data *cross-hole*. Sebagian besar penelitian resistivitas tomografi *cross-hole* menggunakan konfigurasi *pole-pole*, karena konfigurasi tersebut merupakan yang paling sederhana. Di dalam situasi yang praktis, konfigurasi *pole-pole* mempunyai dua tambahan *remote electrode* yang harus ditempatkan jauh sekali dari titik pengukuran. Menurut Zhou [1], tidak mungkin memperoleh data dengan konfigurasi *pole-pole* secara akurat karena sekitar 15% data yang dihasilkan tidak memuaskan. Salah satu jalan untuk mengurangi kesalahan tersebut dengan mengurangi banyaknya *remote electrode* di dalam akuisisi data *cross-hole*, seperti pada konfigurasi *pole-bipole*, *bipole-pole* dan *bipole-bipole*.

Dasar Teori

Metode resistivitas digunakan untuk menentukan distribusi resistivitas elektrik pada permukaan. Tomografi resistivitas merupakan suatu teknik penggambaran yang berhubungan dengan geofisika yang menggunakan sejumlah elektroda dalam lubang-bor yang dapat menggambarkan distribusi resistivitas di dalam tanah [2].

Di dalam survei elektrik tomografi resistivitas yang sederhana digunakan berbagai susunan elektroda arus-potensial, seperti susunan *pole-pole*, *pole-bipole*, *bipole-pole*, *bipole-bipole* (*dipole-dipole*), tergantung pada tujuan pencarian dan situasi permukaannya. Konfigurasi *pole-pole* merupakan konfigurasi yang sering digunakan di dalam tomografi resistivitas.

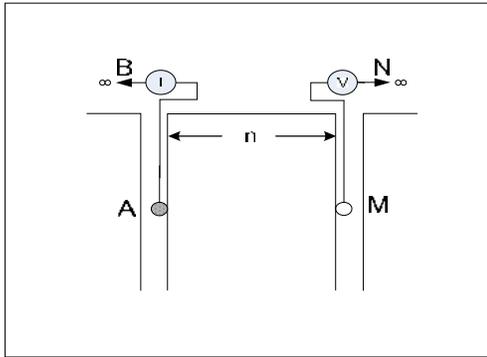
Cross-hole membutuhkan sumber (*source*) dan penerima (*receiver*) pada lubang bor (*borehole*) berbeda (gambar 1), tidak seperti pada *well-logging* yang merupakan pengukuran lubang-bor tunggal [3].



Gambar 1 Metode *cross-borehole* [3]

Konfigurasi Pole-Pole A – M

Konfigurasi *pole-pole* ini merupakan konfigurasi yang paling sederhana. Pada konfigurasi *pole-pole*, ada dua elektroda yang diletakkan jauh tak terhingga dari tempat pengukuran. Dalam tomografi *cross-hole* metode resistivitas dengan konfigurasi *pole-pole A – M*, elektroda arus *B* dan elektroda potensial *N* yang diletakkan jauh tak terhingga dari lubang bor (*remote electrode*), hanya elektroda arus *A* dan elektroda potensial *M* yang ditempatkan dalam lubang bor seperti terlihat pada gambar 2 [1].



Gambar 2 Konfigurasi *pole-pole* A – M [1]

Perumusan resistivitasnya adalah [1]:

$$\rho_a = K \frac{\Delta U}{I} \quad (1)$$

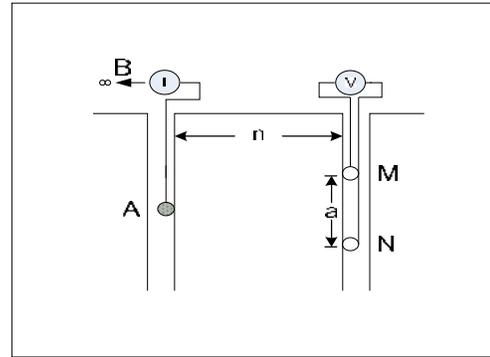
dengan ρ_a merupakan resistivitas semu, ΔU adalah beda potensial antara dua potensial dan K adalah faktor geometri yang tergantung pada susunan konfigurasi elektroda. Faktor geometri untuk konfigurasi *pole-pole* A – M adalah

$$K = 2\pi n \quad (2)$$

dengan n adalah jarak elektroda antara A dan M.

Konfigurasi *Pole-Bipole* A – MN

Konfigurasi *pole-bipole* A – MN menggunakan 4 elektroda, yaitu 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial, tetapi hanya 3 elektroda yang diletakkan pada lubang bor sedangkan elektroda yang 1 lagi diletakkan jauh tak terhingga dari lubang-bor (*remote electrode*). Elektroda arus A diletakkan pada lubang bor sebelah kiri, elektroda arus B diletakkan jauh tak terhingga dari lubang bor sebelah kiri dan elektroda potensial M dan N diletakkan pada lubang bor sebelah kanan seperti yang terlihat pada gambar 3 [1].



Gambar 3 Konfigurasi *pole-bipole* A – MN [1]

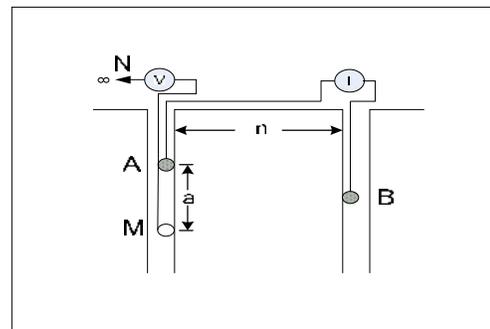
Perumusan resistivitas sama seperti konfigurasi *pole-pole*, yang berbeda hanya faktor geometrinya. Faktor geometri untuk konfigurasi *pole-bipole* A – MN adalah

$$K = 2\pi \left(\frac{n(n+a)}{a} \right) \quad (3)$$

dengan n merupakan jarak elektroda A dan MN dan a merupakan jarak elektroda M dan N.

Konfigurasi *Bipole-Pole* AM – B

Susunan konfigurasi *bipole-pole* AM – B hampir sama dengan konfigurasi *pole-bipole* A – MN, yaitu hanya 3 elektroda yang ditempatkan dalam lubang-bor. Pada konfigurasi *pole-bipole* A – MN, elektroda arus B merupakan *remote electrode*-nya dan pada konfigurasi *bipole-pole* AM – B, elektroda potensial N yang merupakan *remote electrode*-nya. Susunan konfigurasi elektrodanya ditunjukkan pada gambar 4 [1].



Gambar 4 Konfigurasi *bipole-pole* AM – B [1]

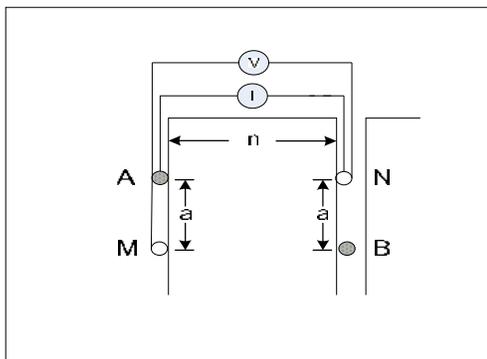
Perumusan resistivitas juga sama seperti konfigurasi *pole-pole* dan *pole-bipole*, yang berbeda hanya faktor geometrinya. Faktor geometri untuk konfigurasi *bipole-pole AM – B* adalah

$$K = 2\pi \left(\frac{na}{(n-a)} \right) \quad (4)$$

dengan n merupakan jarak elektroda AM dan B dan a merupakan jarak elektroda A dan M .

Konfigurasi Bipole-Bipole AM – NB

Konfigurasi *bipole-bipole AM – NB* merupakan konfigurasi yang tidak memiliki *remote electrode*, karena keempat elektrodanya berada dalam lubang-bor. Susunan konfigurasi elektroda ditunjukkan pada gambar 4 [1].



Gambar 4 Konfigurasi *bipole-bipole AM – NB* [1]

Perumusan resistivitas juga sama seperti konfigurasi *pole-pole*, *pole-bipole* dan *bipole-pole*, yang berbeda hanya faktor geometrinya. Faktor geometri untuk konfigurasi *bipole-bipole AM – NB* adalah

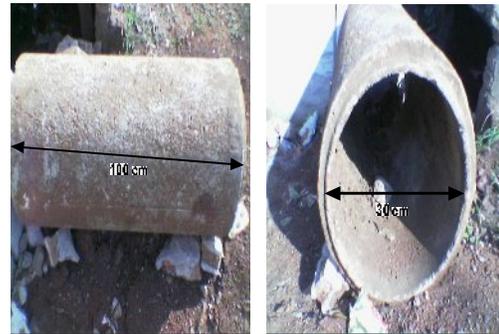
$$K = \pi \left(\frac{a(n+a)}{n} \right) \quad (5)$$

dengan n merupakan jarak elektroda AM dan NB dan a merupakan jarak elektroda A dan M .

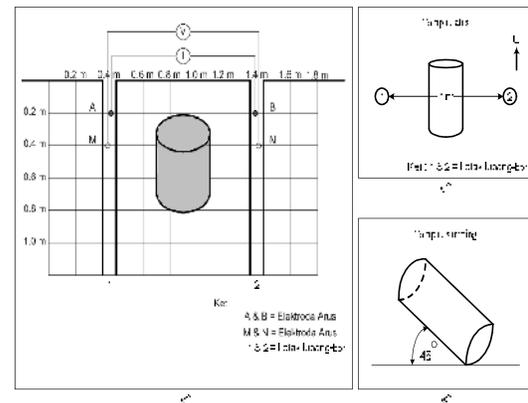
Metode Penelitian

Dalam penelitian ini objek yang akan diteliti berupa sebuah *buis* beton yang berbentuk silinder dengan panjang 1 m dan

diameter 30 cm (seperti yang terlihat pada gambar 5) yang ditanam di bawah permukaan tanah dengan kedalaman sekitar 1m. Buis beton ini bagian dalamnya diisi penuh dengan pecahan-pecahan buis beton sehingga bagian dalamnya terlihat rapat. Benda tersebut digunakan sebagai anomalinnya.



Gambar 5 Bentuk beton buis



Gambar 6 Skema akuisisi data untuk tomografi *cross-hole* di lapangan. (a) Benda anomali tampak depan; (b) Benda anomali tampak atas; (c) Benda anomali tampak samping

Pengambilan data lapangan pada penelitian ini terdiri dari dua pengukuran yaitu pertama pengambilan data dengan menggunakan konfigurasi *Wenner* dan yang kedua dengan konfigurasi *pole-pole*, *pole-bipole*, *bipole-pole* dan *bipole-bipole*. Konfigurasi *Wenner* digunakan sebagai survei awal untuk memastikan anomalinnya, sedangkan konfigurasi *pole-pole*, *pole-*

bipole, *bipole-pole* dan *bipole-bipole* digunakan untuk tomografi *cross-hole*nya.

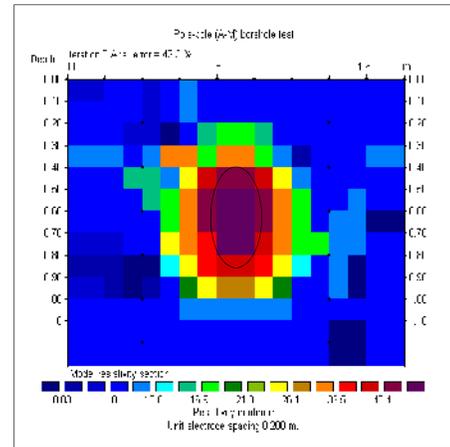
Pengambilan data dengan konfigurasi *Wenner* dilakukan dengan panjang bentangan sejauh 15 m dan dilakukan pengukuran dengan spasi 0,5 m, 1 m, 1,5 m dan 2 m. Pengukuran ini dilakukan pada 3 lintasan dengan jarak masing-masing lintasan sekitar 0,5 m. Pengambilan data untuk tomografi *cross-hole* dengan konfigurasi *pole-pole*, *pole-bipole*, *bipole-pole* dan *bipole-bipole* dilakukan dengan kedalaman lubang bor sekitar 1,2 m dan spasi antar elektroda 0,2 m. Untuk lebih jelasnya skema pengambilan data dapat dilihat pada gambar 6. Untuk konfigurasi *pole-bipole*, *bipole-pole* dan *bipole-bipole* variasi spasi antar elektroda yang satu dengan yang lain dalam lubang bor 0,2 m, 0,4 m, 0,6 m dan 0,8 m.

Pengolahan data dilakukan dengan cara menghitung nilai resistivitas yang diperoleh dari pengambilan data. Untuk melihat hasil pemodelannya digunakan program Res2Dinv.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pemodelan Konfigurasi Pole-Pole

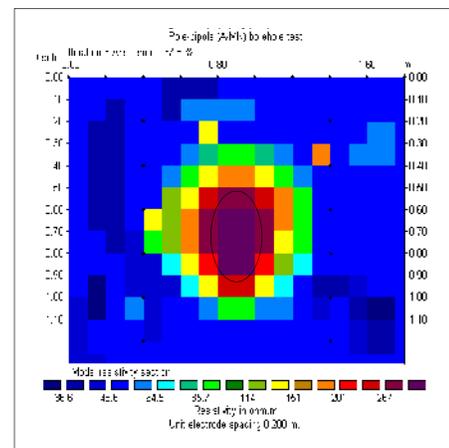
Dari gambar 7 tersebut diperoleh gambaran bahwa letak anomali sekitar 0,6 – 1,2 m dari titik 0,00 dengan kedalaman sekitar 0,8 m dan nilai resistivitasnya sekitar 32,5 – 40,4 Ωm. Pada pengukuran tomografi metode *cross-hole* konfigurasi *pole-pole* digunakan program Res2Dinv untuk melihat hasil pemodelan anomali bentuk silinder.



Gambar 7 Hasil pemodelan pada konfigurasi *pole-pole A – M*

Hasil Pemodelan Konfigurasi Pole-Bipole

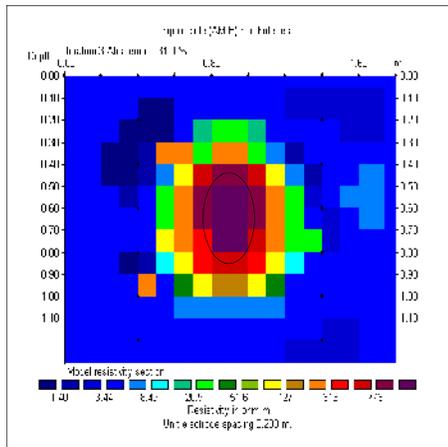
Dari gambar 8 dapat dilihat anomali terletak pada jarak sekitar 0,6 – 1,2 m dari titik 0,00 dengan kedalaman sekitar 0,9 m dan dapat dilihat juga nilai resistivitas dari anomali sekitar 201 – 267 Ωm.



Gambar 8 Hasil pemodelan pada konfigurasi *pole-bipole A - MN*

Hasil Pemodelan Konfigurasi Bipole-Pole

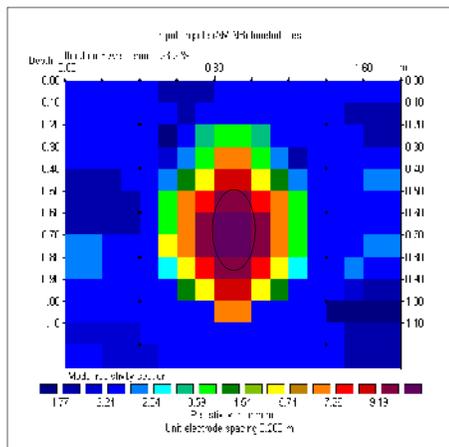
Dari gambar 9 tersebut diperoleh gambaran bahwa letak anomali sekitar 0,6 – 1,2 m dari titik 0,00 dengan kedalaman 0,8 m dan nilai resistivitasnya sekitar 313 – 773 Ωm.



Gambar 9 Hasil pemodelan pada konfigurasi bipole-pole AM – B

Hasil Pemodelan Konfigurasi Bipole-Bipole

Pada gambar 10 diperoleh gambaran bahwa letak anomali sekitar 0,6 – 1,2 m dari titik 0,00 dengan kedalaman 0,8 m dan nilai resistivitasnya sekitar 7,26 – 9,19 Ωm.



Gambar 10 Hasil pemodelan pada konfigurasi bipole-bipole AM – NB

Perbandingan Hasil Pemodelan Konfigurasi Pole-Pole, Pole-Bipole, Bipole-Pole dan Bipole-Bipole

Dari tabel 1, konfigurasi pole-pole memiliki nilai error yang besar dibandingkan dengan konfigurasi pole-bipole, bipole-pole dan bipole-bipole, hal ini disebabkan dalam pengukuran konfigurasi pole-pole memiliki 2 remote electrode. Remote electrode ini mempengaruhi penyebaran arus di sekitar lubang-bor, karena salah satu elektroda arus yang diinjeksikan ke permukaan tanah diletakkan jauh tak terhingga dari lokasi lubang bor sehingga hasil pemodelan anomali dengan menggunakan program Res2Dinv terlihat kurang baik dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Pada tabel 1 tersebut terlihat bahwa nilai resistivitas untuk masing-masing konfigurasi berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena susunan elektroda pada masing-masing konfigurasi.

Dari ke-empat konfigurasi tersebut, konfigurasi bipole-bipole yang hasil pemodelannya paling baik, karena memiliki error yang kecil. Konfigurasi bipole-bipole tidak memiliki remote electrode sehingga sesuai dengan asas timbal-balik pada metode cross-hole.

Tabel 1 Nilai *error* hasil pemodelan dan resistivitas anomali dari hasil pemodelan dengan Res2Dinv

Konfigurasi	Nilai <i>error</i>	Nilai resistivitas (ρ_a)	Kedalaman anomali
<i>Pole-pole</i>	42,3 %	32,5 – 40.4 Ω m	0,8 m
<i>Pole-bipole</i>	37,8 %	201 – 267 Ω m	0,9 m
<i>Bipole-pole</i>	31,0 %	313 – 773 Ω m	0,8 m
<i>Bipole-bipole</i>	23,2 %	7,26 – 9,19 Ω m	0,8 m

Tabel 2 Hasil estimasi kedalaman dengan program Res2Dinv dan kedalaman sebenarnya

Konfigurasi	Estimasi kedalaman		Kesalahan (%)
	Hasil program Res2Dinv	Keadaan sebenarnya	
<i>Pole-pole</i>	0,8 m	1 m	20 %
<i>Pole-bipole</i>	0,9 m	1 m	10 %
<i>Bipole-pole</i>	0,8 m	1 m	20 %
<i>Bipole-bipole</i>	0,8 m	1 m	20 %

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah dapat dilakukan pemodelan dengan tomografi resistivitas metode *cross-hole* menggunakan program Res2Dinv, bentuk anomali hasil pemodelan sesuai dengan bentuk benda sebenarnya yaitu benda silindris.
2. Hasil pemodelan konfigurasi *pole-pole* kurang baik dibandingkan konfigurasi *pole-bipole*, *bipole-pole* dan *bipole-bipole*. Hasil pemodelan konfigurasi *bipole-bipole* merupakan hasil pemodelan yang paling baik di antara ketiga konfigurasi.

Saran

Untuk mengembangkan penelitian ini dapat dilakukan dengan bentuk anomali

dan konfigurasi yang lain dan dengan kedalaman lubang bor yang lebih dalam sehingga dapat menghasilkan gambaran yang baik.

Daftar Pustaka

- [1] Zhou, B and S.A. Greenhalg, 2000, Cross-hole Resistivity Tomography Using Different Electrode Configurations, *Geophysical Prospecting*, Vol 48, 887-912.
- [2] Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [3] Sherift, R.E. and Geldarf, L.P., 1995, *Exploration Seismology*, Cambridge University Press, Cambridge