

Analisis Geometri Akuifer Dangkal Menggunakan Metode Seismik Bias *Reciprocal Hawkins* (Studi Kasus Endapan *Alluvial* Daerah *Sioux Park, Rapid Creek, South Dakota, United State of America*)

Fenti Listiyani, Gatot Yuliyanto

Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Diponegoro

Abstract

Data processing of refraction Seismic with reciprocal Hawkins method have been done by using the secondary data in area of Sioux Park, Rapid Creek, South Dakota, United State of America which has geology structure of alluvial sediment. The sediment Alluvial has the form of water carrier rock precipitated by Rapid Creek. The result of this research are: first layer with velocity vary from 268 m/s to 347 m/s consist of clay functioning as covering layer, the second layer have velocities 939 m/s-1829 m/s, depth 0.28 m-3.43 m and thickness 0.26 m-4.40 m, lapped over from clay, sand, and gravel functioning as carrier coat irrigate or coated acquifer and the third layer, have velocity 1874 m/s-2216 m/s lapped over from stone napal, acts as waterproof coat (impermeable). These acquifers are unconfined aquifer.

Keywords: acquifer, seismic refraction, ground water

Intisari

Telah dilakukan pengolahan data seismik bias metode Reciprocal Hawkins menggunakan data sekunder daerah Sioux Park, Rapid Creek, South Dakota, United State of America yang memiliki struktur geologi berupa endapan alluvial yang menyebar secara merata berupa batuan pembawa air yang diendapkan oleh Rapid Creek. Hasil dari pengolahan data serta analisis seismik bias diperoleh: lapisan pertama dengan variasi kecepatan antara 268 m/s – 347 m/s, tersusun atas tanah, lempung pasir, lempung pengisi tanah dan kerikil, yang berfungsi sebagai lapisan penutup, lapisan kedua dengan variasi kecepatan antara 939 m/s – 1829 m/s, tersusun atas lempung, pasir dan kerikil yang berfungsi sebagai lapisan pembawa air (akuifer), memiliki kedalaman antara 0,28 m – 3,43 m dan ketebalan 0,26 m – 4,40 m, serta lapisan 3 dengan variasi kecepatan antara 1874 m/s – 2216 m/s, tersusun atas batu napal, yang berfungsi sebagai lapisan kedap air (impermeabel). Akuifer-akuifer ini merupakan akuifer tak-tertekan.

Kata kunci: akuifer, seismik bias, air tanah

Pendahuluan

Muka air tanah adalah suatu permukaan yang didekati oleh ketinggian permukaan air dalam sumur yang menembus sampai zona saturasi^{[1][2]}. Muka air tanah dapat juga didefinisikan sebagai permukaan yang tekanan cairnya dalam pori-pori dari sebuah media berpori adalah sama dengan tekanan atmosfer. Sedikit di atas muka air tanah terdapat frinji kapilaritas, yaitu daerah di dalam tanah ketika air yang berasal dari zona jenuh ditarik oleh gaya kapiler kedalam zona aerasi. Frinji kapilaritas berbentuk tidak beraturan dan selalu berubah mengikuti muka air tanah. Frinji itu sendiri adalah bagian tepi atau atas dari muka air tanah

yang menunjukkan batas yang tidak rata karena ada bagian yang menjulur keluar, sedangkan kapiler adalah pipa-pipa kecil atau saluran halus dalam tubuh batuan.

Metode yang dipilih dalam penelitian untuk menganalisis akuifer dangkal ini adalah seismik bias dengan metode yang dikembangkan oleh Hawkins yaitu *reciprocal Hawkins*^[3] yang merupakan pengembangan dari konsep yang disebut dengan *time depth*^[4] Aplikasi penggunaan metode seismik bias ini salah satunya untuk penyelidikan air tanah, antara lain untuk mendapatkan data simulasi model air tanah meliputi bentuk geometris, penyebaran serta ketebalan dari akuifer. Diharapkan dari penelitian ini

dapat dieksplorasi lebih jauh tentang sumber-sumber air tanah karena air merupakan kebutuhan yang sangat dominan dan terus meningkat dalam kehidupan sehari-hari.

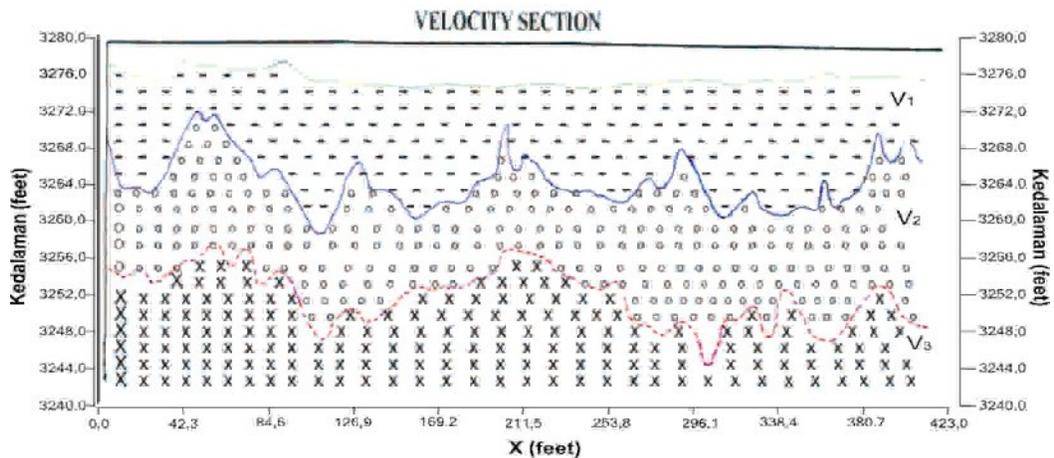
Metode Penelitian

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan membandingkan hasil dari perhitungan data menggunakan metode seismik bias-*reciprocal Hawkins* dengan data yang diperoleh data sumur bor, data geohidrologi serta geologi dari daerah penelitian. Selanjutnya dari hasil perhitungan data diperoleh nilai kecepatan tiap lapisan. Dari kecepatan tiap lapisan tersebut kemudian dilakukan analisis menggunakan variasi kecepatan gelombang P dari tiap batuan. Setelah didapatkan data kedalaman dan ketebalan dari tiap *geophone*, selanjutnya dilakukan koreksi menggunakan data sumur bor yang ada. Koreksi dengan data sumur bor tersebut dilakukan untuk mendapatkan penampang bawah permukaan yang sesuai dengan kenyataannya (*real data*).

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisis penampang seismik bias dipadukan dengan data dari

sumur bor, geologi dan hidrologi serta variasi nilai kecepatan gelombang P pada setiap jenis batuan yang diperoleh dari perhitungan menggunakan metode *reciprocal Hawkins* diperoleh jenis akuifernya yaitu akuifer bebas dangkal (akuifer tak tertekan dangkal) yang berada dekat dengan permukaan tanah dengan muka air tanahnya berhubungan langsung dengan udara bebas. Dengan zona saturasi berada di bawah zona aerasi sedangkan di antara zona aerasi dan saturasi terdapat muka air tanah. Gambar 1 merupakan penampang kecepatan dan geologi dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode *Reciprocal Hawkins* yang sudah dikoreksi dengan bor. Pada gambar terlihat bahwa garis berwarna biru merupakan topografi, garis berwarna hijau hasil perhitungan kedalaman lapisan pertama yang belum dikoreksi dengan sumur bor sedangkan garis berwarna ungu adalah hasil kedalaman lapisan pertama setelah dikoreksi dengan sumur bor. Kedalaman yang dikoreksi hanya kedalaman pada lapisan pertama karena data sumur bornya tidak sampai pada lapisan ketiga, sehingga kedalaman lapisan kedua tidak dapat dikoreksi



Keterangan : - = Tanah, o = Lempung, pasir, x = Napal

Gambar 1 Model geologi bawah permukaan hasil dari perhitungan dengan metode *Reciprocal Hawkins*

Tabel 1. Perbandingan litologi batuan bawah permukaan dari hasil penampang seismik dengan sumur bor

Lapisan	Penampang Seismik	Sumur Bor dan Data Geologi
1	Tanah, lempung	Lempung
2	Lempung, pasir (kering, bersifat meluluskan)	Lempung berbatu kerikil
3	Napal	Napal

Muka air tanah pada gambar penampang seismik bias ditunjukkan pada batas antara lapisan satu dan lapisan dua. Deteksi muka air tanah menggunakan seismik bias dilakukan dengan cara mendeteksi lapisan jenuh dan tidak jenuh dilihat dari besar kecepatan gelombang P pada masing-masing lapisan yang memiliki jarak (variasi) kecepatan yang besar. Selain itu dipilih muka air tanah pada batas antara lapisan satu dan lapisan dua karena pada lapisan 3 nilai kecepatan gelombang P berupa batu napal. Hal ini diketahui dengan cara perhitungan langsung di lapangan sehingga hasil yang diperoleh dari proses pengolahan data dicocokkan, diperoleh hasil yang identik.

Penentuan litologi batuan bawah permukaan dilakukan dengan melihat nilai kecepatan gelombang seismik pada masing-masing lapisan. Untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap maka dibandingkan dengan data sumur bor hasil pengeboran langsung pada daerah penelitian. Berdasarkan data dari sumur bor pada lokasi penelitian diperoleh litologi setempat berupa lapisan 1 dan lapisan 2. karena informasi dari data sumur bor tidak cukup untuk mengetahui litologi lapisan 3. Litologi dari lapisan 3 diperoleh dari data geologi daerah penelitian. Litologi batuan bawah permukaan berdasarkan sumur bor dan data geologi dengan variasi kecepatan gelombang P memperlihatkan keidentikan. Kecepatan lapisan 1 dari seismik identik dengan batuan dari sumur bor begitu juga pada lapisan 2, sedangkan kecepatan lapisan 3 identik dengan batuan dari data geologi. Dengan demikian dapat diketahui bahwa litologi batuan bawah permukaan pada

lintasan seismik daerah penelitian daerah ini adalah sebagai berikut:

- Lapisan 1 berupa lapisan lapuk yang tersusun dari tanah, lempung pasir, lempung pengisi tanah dan kerikil merupakan lapisan penutup. Batuan lempung yang terdapat dalam lapisan ini memiliki sifat yang cukup kedap air. Lapisan yang sulit dilalui air tanah seperti lapisan lempung atau *silt* disebut lapisan kedap air (*aquiclude*) yang hanya dapat menyimpan air tetapi tidak meluluskan air.
- Lapisan kedua berupa lapisan yang tersusun dari batu lempung, pasir (kering, bersifat meluluskan), serta pasir dan kerikil dekat dengan permukaan. Batu pasir dan batu kerikil tersaturasi menerima resapan dari *Rapid Creek* dan membentuk lapisan akuifer. Lapisan yang dengan mudah dilalui air tanah seperti pasir / kerikil disebut lapisan permeable.
- Lapisan ketiga berupa batu napal yang berada pada formasi *Spearfish*. memiliki sifat *impermeabel* atau kedap air.

Dari hasil pengamatan pada daerah penelitian terdapat ketidakseragaman ukuran butir batuan, yang berakibat air kapiler tidak akan naik pada muka air tetapi akan membentuk frinji yang tidak seragam. Frinji kapiler tersebut akan naik pada batuan yang memiliki butir batuan yang halus dibandingkan butir batuan yang kasar. Hal tersebut disebabkan pada butir batuan kasar memiliki tekanan besar sehingga menghasilkan pori yang kecil begitu juga sebaliknya. Muka air tanah jika dilihat dari data sumur bor menunjukkan batuan berupa batu lempung. Dengan sifat lempung yang memiliki ukuran butir yang

halus maka muka air tanah akan naik. Naiknya muka air tanah tersebut tidak datar karena ketidakseragaman komposisi lempung pada daerah penelitian.

Akuifer atau lapisan pengandung air berporositas tinggi, merupakan tempat air tanah mengalir. Akuifer bebas dangkal dapat berupa hubungan langsung secara vertikal dengan atmosfer melalui ruang-ruang terbuka dalam lapisan permeable. Akuifer dangkal yang terbentuk yaitu akuifer bebas dangkal yang berada pada zona saturasi ditandai dengan batas-batas atasnya adalah lapisan penutup. Pada lapisan penutup tersebut hanya dapat menyimpan air tetapi tidak meluluskan air dalam jumlah yang berarti. Dan batas bawahnya berupa lapisan kedap air, yang menyebabkan air tidak akan mengalir ke lapisan di bawahnya. Muka air tanah dari akuifer bebas tersebut dapat dilihat dari data bor berada pada lapisan dua dengan jenis batuanya kerikil lempungan, pada penampang seismik memiliki nilai kecepatan gelombang P pada lapisan dua.

Sistem Penyimpanan Air Tanah

Sistem penyimpanan air dalam media pori berdasar pada air tanah tersimpan dan bergerak pada semua jenis batuan, sehingga faktor fisik dari batuan baik berupa retakan, pori dan bentuk lubang yang berhubungan dengan sistem penyimpanan air dalam tubuh batuan. Sistem penyimpanan air pada ruang antar butir dapat juga diartikan air yang menempati ruang pori-pori yang ada pada batuan disebabkan dan dipengaruhi oleh bentuk dan variasi ukuran butir, jumlah matrik dan prosentase semen yang terdapat dalam batuan, disebut dengan porositas primer. Pengaruh udara yang juga mengisi pori-pori batuan tidak bisa diabaikan. Karena aliran air tanah yang berada pada pori-pori batuan berada dibawah kondisi muka air kering, akan mempengaruhi keseimbangan penguapan air terhadap perubahan antara udara dan permukaan butir batuan, akan menimbulkan lapisan tipis air yang diketahui sebagai tempat

penyerapan air untuk permukaan butiran. Untuk batuan dengan butiran kasar dan mengalami penjenjutan terbentuk pada kotak antar butir batuan. Batuan di permukaan bumi selalu tampak adanya retakan, retakan dapat diakibatkan sebagai akibat dari permukaan yang mengalami penghancuran batuan karena patahan atau tektonik, yang merupakan porositas sekunder, sehingga air tanah bisa bergerak sepanjang ruang hasil retakan yang saling berhubungan. Pada bidang per lapisannya merupakan porositas primer walaupun dalam hal ini ruangan antar butir batuanya berupa celah, tetapi terbentuk bersamaan dengan batuan yang ada, sehingga jika batuan bergerak sepanjang bidang per lapisan, maka akan berubah menjadi porositas sekunder.

Keadaan tersimpannya air tanah dangkal pada batuan atau pelapukan batuan, dipengaruhi oleh kesarangan (porositas) dan kelulusan (permeabilitas) batuan. Kesarangan menunjukkan air tanah dapat disimpan dan dijenuhkan pada suatu batuan, sedangkan kelulusan menunjukkan air pada suatu bagian yang sama dapat diteruskan pada butiran yang lain. Kelulusan dan kesarangan saling berhubungan erat, karena keduanya menunjukkan hubungan antara rongga-rongga yang seolah-olah menunjukkan adanya pipa-pipa kecil atau saluran halus dalam tubuh batuan. Jadi porositas adalah jumlah dari pada ruang yang terbuka dalam unsur batuan secara menyeluruh, sedangkan permeabilitas adalah kemampuan dari media atau bahan untuk meluluskan air. Pada batuan dengan porositas besar belum tentu mempunyai permeabilitas besar pula, karena ukuran dan kontinuitas hubungan terbuka antar ruangan. Pada batuan dengan partikel yang memiliki besar butiran yang seragam akan lebih besar porositasnya jika dibandingkan dengan batuan dengan besar butir yang tidak seragam. Hal ini disebabkan pada kondisi batuan beragam maka pori-pori dari batuan di antara butirannya dapat diisi

dengan ukuran butir yang lebih kecil. Dalam kondisi seperti ini maka pengaruh jumlah air terhadap pemadatan akan lebih kecil dibandingkan dengan kondisi batuan yang seragam, atau dengan kata lain semakin besar distribusi keseragamannya maka ruang antar butiran akan semakin kecil. Pada batuan yang mempunyai bentuk butir yang membulat akan semakin besar porositasnya, sedangkan pada batuan dengan butir yang meruncing sampai runcing maka porositasnya akan semakin kecil. Untuk batuan dengan diameter butir kecil atau halus memiliki porositas besar dibandingkan pada batuan dengan diameter butirannya besar atau kasar.

Hasil penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh litologi batuan pada lapisan satu berupa lempung yang memiliki porositas besar karena memiliki ukuran butir yang seragam yaitu kecil dan halus, namun memiliki permeabilitas rendah sehingga tidak mampu untuk menyimpan dan mengalirkan air. Pada lapisan ke dua diperoleh litologi batuan berupa batu lempung, pasir dan kerikil. Adanya pasir dan kerikil tersebut menyebabkan pada lapisan dua memiliki porositas besar karena memiliki butir batuan yang membulat, dengan permeabilitasnya besar sehingga mampu untuk menyimpan air dan mengalirkannya dalam jumlah yang berarti. Pada lapisan ke tiga diperoleh batuan berupa batu napal yang memiliki sifat kedap air, sehingga tidak dapat menyimpan dan meluluskan air.

Kesimpulan

Dari proses pengolahan data dan analisis hasil pengolahan data yang dilakukan maka kesimpulan yang dapat ditarik adalah:

1. Pada penampang seismik hasil dari pengolahan dan analisis data didapatkan tiga lapisan yaitu:

Lapisan 1 dengan variasi kecepatan antara 268 m/s – 347 m/s, tersusun

atas tanah, lempung pasir, lempung pengisi tanah dan kerikil, yang berfungsi sebagai lapisan penutup.

Lapisan 2 dengan variasi kecepatan antara 939 m/s – 1829 m/s, tersusun atas lempung, pasir dan kerikil yang berfungsi sebagai lapisan pembawa air (akuifer), memiliki kedalaman antara 0,28 m – 3,43 m dan ketebalan 0,26 m – 4,40 m dari perhitungan metode *reciprocal* Hawkins.

Lapisan 3 dengan variasi kecepatan antara 1874 m/s – 2216 m/s, tersusun atas batu napal, yang berfungsi sebagai lapisan kedap air (impermeabel).

2. Akuifer-akuifer pada daerah penelitian berupa akuifer bebas (tidak tertekan) yang ditunjukkan dengan adanya lempung, pasir dan kerikil sebagai komposisi dari endapan *alluvial*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih pada Prof. M. I. T. Taib, dosen Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung serta Dr. Bogie Soedjatmiko dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Kodoatie, R. J. 1996. *Pengantar Hidrogeologi*. Yogyakarta. Andi Offset
- [2] Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta. Gajah Mada University Press
- [3] Hawkins, L. V. 1961. *The Reciprocal Method of Routine Shallow Seismic Refraction Investigation*. Jurnal Geophysics. Volume XXVI No. 6
- [4] Taib, M. I. T. 2000. *Seismik Refraksi*. Bandung. Institut Teknologi Bandung Press

