

KARAKTERISTIK GELOMBANG STONELEY DALAM MENENTUKAN PERMEABILITAS RESERVOIR SUMUR PEMBORAN

Kosim

Program Studi Pendidikan Fisika.

Universitas Mataram

Mataram, Indonesia

Email: kosim.unram@gmail.com

Abstract—In-situ permeability is an important factor in determining whether an economical drilling oil wells to be mined. Therefore, the calculation in determining the true value of permeability with an attempt to take a further decision, whether the industry is continued or not. Research through study literature is obtained a mathematical modeling from Matheu and Toksoz's work which contains the components of acoustic waves attenuation factor and rock permeability factor. Furthermore, by combining some of the concepts and theories, mathematical models are used for acoustic field data logs and other data which are required to get permeability. Data from the acoustic log is analyzed to determine the time delay for P, S and Stoneley waves, then determination of the speed, frequency and attenuation factor, especially for wave Stoneley. In this permeability calculations, it is assumed that the condition of the rock formations in the area of measurement is a permeable rock and contains fractures. The results show that the permeability in measurement area at a depth position indicates suitable with the data of rock state.

Keywords: *permeability, mathematical modeling, stoneley waves.*

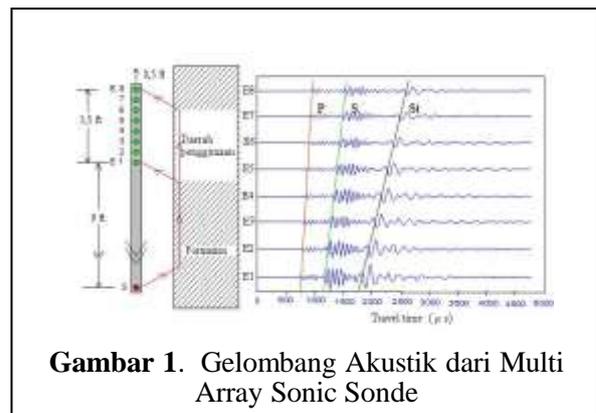
PENDAHULUAN

Permeabilitas merupakan suatu besaran fisika yang penting dalam menentukan efisiensi secara ekonomi keberadaan minyak bumi dalam suatu reservoir sebuah sumur pemboran. Metode dalam memperkirakan nilai permeabilitas berkembang terus, khususnya yang berorientasi pada penelitian hasil pengukuran geofisika dari sumur-sumur pemboran. Dalam menentukan permeabilitas dari sumur pemboran suatu reservoir adalah mungkin dengan menggunakan multi array sonic sonde [1] telah menentukan permeabilitas yang berhubungan dengan atenuasi gelombang akustik P. Berbagai model permeabilitas yang bersifat teori telah dikemukakan oleh [2] dan [3] dalam *squit-flow mechanics*. Model medium *poroelastik* dari Para⁴ juga telah berusaha meyakinkan untuk menentukan permeabilitas melalui data gelombang akustik.

Gelombang akustik yang merambat dalam sumur pemboran tidaklah hanya gelombang P (Pressure), tetapi juga ada gelombang akustik lainnya seperti gelombang S (transversal) dan juga gelombang St (Stoneley) seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Pada gambar1 tersebut merupakan salah satu data hasil pengukuran dilapangan pada resevoir sumur pemboran di Jerman Utara formasi rotligend untuk kedalaman 5749 m. Pada gambar nampak bahwa gelombang Stoneley muncul paling lambat dengan ciri-ciri frekuensi rendah dan amplitudanya besar. Selain itu signal gelombang Stoneley bergerak tegaklurus terhadap formasi dan merambat sepanjang permukaan dinding sumur melintasi padatan dinding

dan fluida sekitar permukaan dinding sumur menurut [5] dan [6].



Gambar 1. Gelombang Akustik dari Multi Array Sonic Sonde

Sedangkan penelitian permeabilitas yang hubungannya dengan karakteristik gelombang Stoneley telah ditunjukkan oleh [7], bahwa atenuasi dan slowness gelombang Stoneley mempunyai hubungan yang signifikan positif dengan hasil pengukuran permeabilitasnya. Dari ide inilah timbul pemikiran untuk mencari bentuk model yang dapat menghubungkan karakteristik gelombang Stoneley seperti kecepatan, frekuensi dan faktor atenuasinya, dalam menentukan permeabilitas batuan. Model matematik yang diperoleh kemudian harus dapat diaplikasikan untuk menentukan in-situ permeabilitasnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Perambatan gelombang Stoneley dalam sumur lubang pemboran dapat dikatakan sebagai gelombang tabung, sehingga gerakan ini menyerupai gerakan sebuah piston dalam ubang pemboran yang berisikan fluida [8]. Apabila gelombang ini merambat melalui formasi yang permeable dan juga zone retakan (*fractures*), maka rambatan ini dapat mendorong fluida untuk bergerak dari dinding lubang pemboran ke arah retakan ataupun ke dalam formasi yang permeable atau medium berpori. Dalam penjalarnya gelombang ini akan mengalami atenuasi. Maka model batuan dalam sumur pemboran yang diperlukan adalah sifat fluidanya harus elastis, sifat medium padatan berpori dan inelastis. Porositas formasi batuanya dihitung dari data kecepatan gelombang P dengan menerapkan model Platt [9].

Berdasarkan studi literatur, ditentukan pilihan bentuk model dari [10] Sebagaimana yang diinginkan untuk dapat menunjukkan hubungan antara faktor atenuasi ($1/Q$) gelombang Stoneley dengan permeabilitas batuan (κ). Bentuk model batuan formasi dalam pengukuran ditunjukkan pada gambar 2 dengan persamaan yang telah diturunkan sebagai berikut

$$Q^{-1} = 1 - \frac{p_T}{p_E} = \frac{1}{1-X} \tag{1}$$

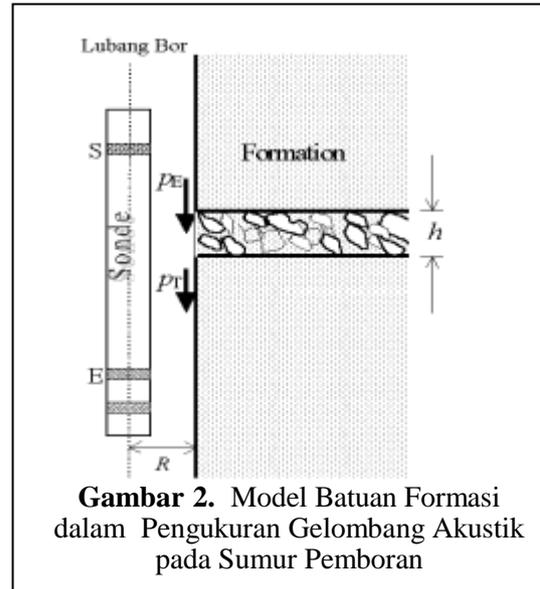
denga X adalah

$$X = \frac{k\rho_f v_{St}}{\eta} \frac{I_0(kR)}{I_1(kR)} \left[\frac{1}{2R} + \frac{2}{\pi} \left(\frac{2\pi f_{St} \phi \eta}{\kappa K_f} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \kappa h \tag{2}$$

Keterangan :

Dimana: Q^{-1} - faktor atenuasi, p_T dan p_E - tekanan transmisi dan tekanan masuk gelombang Stoneley, X - faktor transmisivitas, k - bilangan gelombang Stoneley, ρ_f - densitas fluida dalam lubang pemboran, η - viskositas fluida, v_{St} - kecepatan phase gelb. Stoneley, dan I_1 - modifikasi fungsi besel ke 0 dan ke 1, R - radius sumur pemboran, f_{St} - frekuensi gelb.Stoneley, ϕ - porositas batuan, K_f - kompresibilitas fluida dalam lubang pemboran, h - lebar retakan (*fracture wide*), κ - permeabilitas.

Model formasi batuanya digambar sebagai berikut (gambar 2).



Gambar 2. Model Batuan Formasi dalam Pengukuran Gelombang Akustik pada Sumur Pemboran

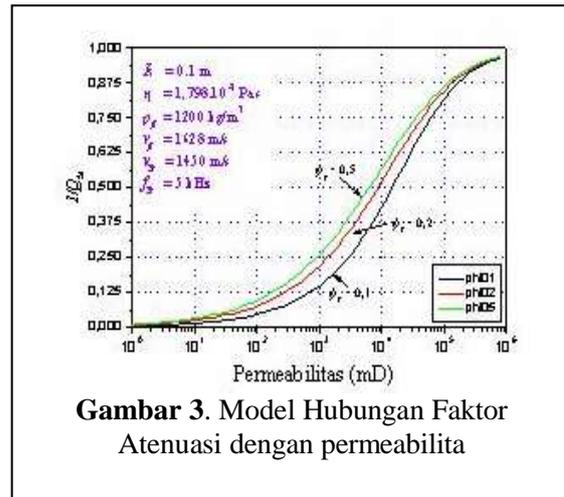
METODE PENELITIAN

Melakukan studi literatur berbagai macam permodelan matematik berikut model formasi batuanya, sehingga ditemukan model yang sesuai dengan permasalahan atenuasi gelombang stoneley hubungannya dengan permeabilitas.

Setelah dipastikan model matematik yang dimaksud benar, maka bagaimana model itu agar dapat digunakan untuk data lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model hubungan faktor atenuasi - permeabilitas



Gambar 3. Model Hubungan Faktor Atenuasi dengan permeabilita

Mengacu pada persamaan model [10] tersebut diperoleh grafik hubungan antara faktor atenuasi dengan permeabilitas batuan dengan mengambil gambaran umum dari data lapangan formasi rotliegend di Jerman Utara diperoleh model grafik gambar 3.

Grafik pada gambar 3 tersebut menunjukkan bahwa untuk harga porositas berbeda, maka membesarnya faktor atenuasi menyebabkan besarnya permeabilitas. Akan tetapi, hubungan

tersebut tidaklah linier, karena banyak faktor lain yang mempengaruhinya.

B. Hasil Pengolahan Data Lapangan

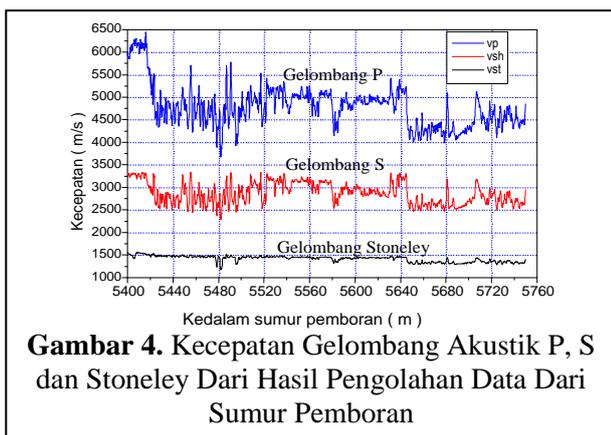
Pengambilan data dari hasil pengukuran pada sumur pemboran dengan menggunakan multi array akustik sonde yang terdiri dari satu sumber dan 8 receiver. Jarak antar receiver adalah 0,5 ft, sedangkan jarak receiver terdekat (receiver pertama) dengan titik sumber akustik adalah 9 ft. Signal yang diterima merupakan signal digital yang langsung di catat oleh komputer sebagai data mentah yang harus diolah kembali. Penjalaran gelombang akustik dari sumber S ke receiver R melalui dinding lubang pemboran seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 diatas.

Waktu perambatan yang diperoleh merupakan selisih travel time untuk dua receiver yang berdekatan yang disebut slowness. Dalam menentukan nilai rata-rata slowness dari masing-masing type gelombang P, S dan Stoneley untuk satu kedalaman dari 8 receiver tersebut telah digunakan rumus.

$$\Delta t = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{1}{0,5j} \left(\frac{1}{n-j} \sum_{i=j}^n \tau_{(i)} - \tau_{(i-j)} \right) \right] \quad (3)$$

Dimana n = banyaknya receiver, τ = travel time. Sedangkan dalam menghitung kecepatan phase (v) gelombangnya merupakan harga kebalikan dari rerata slowness atau v = 1/Δt.

Hasil ini ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Kecepatan Gelombang Akustik P, S dan Stoneley Dari Hasil Pengolahan Data Dari Sumur Pemboran

Data digital gambar gelombang akustik untuk spacing yang berbeda merupakan alasan dalam menentukan sifat gelombang secara satu persatu. Dengan menguraikan gambar gelombang secara diskrit dalam domain waktu, dapatlah dinyatakan gambar gelombang melalui harga amplitude untuk setiap titik digit waktu perambatan. Perambatan signal dalam suatu medium pada dasarnya adalah

merupakan hasil perkalian dari reaksi impuls dan signal sumber. Dalam pengolahan data tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk perambatan secara kontinu ataupun secara diskrit untuk setiap titik digit.

Karena terdapat 8 input data untuk satu titik kedalaman pengukuran, maka dilakukan diskritisasi untuk masing- masing data input. Pengolahan data ini dilakukan dengan pembuatan program dengan bahasa Fortran, mulai dari pengepikan travel time metoda *kompleks fur analysis* [11] dengan menggunakan band pas filter untuk masing-masing gelombang, S dan Stoneley hingga untuk perhitungan rata-rata kecepatan yang merupakan harga kebalikan dari slowness. Dari data mentah gelombang, secara diskrit di cari atenuasi dan frekuensi gelombang Stoneley dari masing-masing input data dengan pencuplikan menggunakan fiter hamming window. Sedangkan perhitungan faktor atenuasinya diperoleh dengan menggunakan metoda spektrumdivision [12] dan untuk menghitung frekuensi gelombangnya dengan metoda centroid frekuensi [13].

Parameter lain yang diperlukan untuk perhitungan permeabilitas adalah diameter lubang pemboran yang diperoleh langsung dari pengukuran di lapangan dengan menggunakan Kaliber log. Untuk koreksi porositas dengan adanya kandungan tanah lempung didalam fluida pada lubang pemboran diperlukan data gamma log.

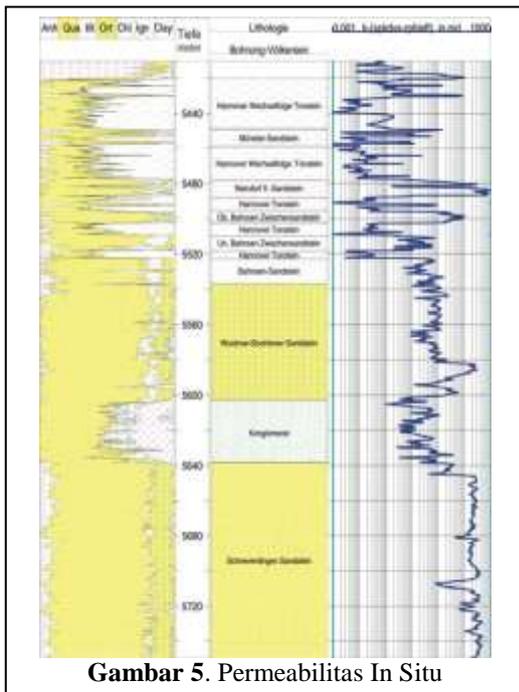
Untuk menentukan in-situ permeabilitas batuan yang terisi fluida telah dihitung berdasarkan aplikasi dari penurunan model Mathieu dan Toksöz. Perumusan persamaan untuk perhitungan ini dikembangkan menjadi suatu persamaan dalam bentuk kuadrat sebagai berikut

$$\frac{1}{4} \left(\frac{\rho_f v_{st} k I_0(kR) h}{\eta I_1(kR) R} \right)^2 \kappa^2 - \left[\left(\frac{Q^{-1}}{1-Q^{-1}} \right) \frac{1}{R} \right. \quad (4)$$

$$\dots + \frac{4 \rho_f v_{st} k (2\pi f_{st}) \phi h I_0(kR)}{\pi^2 K_f I_1(kR)} \left. \left(\frac{\rho_f v_{st} k h I_0(kR)}{\eta I_1(kR)} \right) \kappa \right.$$

$$\dots + \left. \left(\frac{Q^{-1}}{1-Q^{-1}} \right)^2 \right] = 0$$

Persamaan diatas merupakan persamaan kuadrat untuk faktor permeabilitas κ, sehingga untuk data lapangan dengan memasukan banyak variabel seperti massa jenis fluida, fiskositas fluida konduktifitas fluida, kecepatan gelombang stoneley, faktor atenuasi gelombang stoneley, frekwensi gelombang stoneley, jari-jari lubang sumur pemboran, porositas batuan, lebarnya lebar fraktur diperoleh hasil permeabilitas yang kontinu dari sumur pemboran (lihat gambar 5).



Gambar 5. Permeabilitas In Situ

Pada gambar 5 kolom 3 tersebut menunjukkan permeabilitas batuan berisikan fluida pada pemboran Volkersen bervariasi dari 10-3 – 103 mD. Ternyata sesuai dengan litologi batuan, bahwa permeabilitas yang besar terdapat pada batuan pasir (sandstone). Permeabilitas merupakan parameter penting dalam mengambil keputusan layak tidaknya suatu reservoir di tambang. Oleh karena itu menentukan cara untuk menghitung in-situ permeabilitas dapat merupakan hal penting pula.

PENUTUP

Pemanfaatan model hubungan faktor attenuasi dengan permeabilitas dari Mathie dan Toksöz telah berhasil dilakukan perhitungan untuk menentukan besar permeabilitas in-situ. Perhitungan ini menggunakan banyak parameter, terutama dari karakteristik gelombang akustik Stoneley dan parameter di lapangan seperti jari-jari lubang pemboran, dan sifat fluidanya. Falasafah semakin banyak parameter yang terlibat dalam suatu perumusan, maka semakin memberikan ramalan hasil di lapangan yang mendekati kebenaran. Prinsip itulah yang digunakan dalam penelitian ini.

Kebenaran persamaan itu di cek berdasarkan bentuk dimensinya dari suatu besaran fisika. Dalam persamaan ini satuan permeabilitas diperoleh dalam satuan m⁻² atau dalam satuan Darcy.

REFERENSI

[1] Akbar, Nabil; J.Dvorkin and A. Nur. (1993). *Relating P-wave to permeability*. In: Geophysics, Vol.58, Nr.1, p. 20-29.

[2] Dvorkin, Jack and A. Nur. (1993). *Dynamic poroelasticity: A unified model with the squirt and the Biot mechanisms*. In: Geophysics, Vol. 58, Nr. 4, p. 524-533.

[3] Diallo, M. S. and E. Appel. (2000). *Acoustic wave propagation in saturated porous media: reformulation of the Biot/Squirt flow theory*. In: J. Applied Geophysics, Nr.44, p. 313-325.

[4] Parra, J. O. (2000) *Poroelastic model to relate seismic wave attenuation and dispersion to permeability anisotropy*, In: <http://www.seg.org/geophysics.online/html.2000>.

[5] Dominiquez, Hector and G.Perez. (1991). *Permeability Estimation in Naturally Fracture Fields by Analysis of Stoneley Waves*. In: The Log Analyst, March-April, p.120-128.

[6] Labo, J.\$A. (1992). *Practical Introduction to borehole Geophysics*. Society of Exploration Geophysics, USA.

[7] William, D. M.; J. Zemanek, F. Angona, A.; Denis, C. L. and L. Caldwell. (1984). *The long space acoustic logging tool*. In: Trans., 25th Ann. Soc. Prof. Well-Log Anal. Logging system, Band T.

[8] White, J. E. (1962a). *Studies of elastic wave attenuation in porous media*. Geophysics, XXVI, Nr. 5, S. 569-589.

[9] Wyllie, M. R. J.; Gregory, A.R. and Gardner, L.W. (1956). *Elastic wave velocities in heterogenous and porous media*. In: Geophysics, Vol. 21, p. 41-47.

[10] Mathieu, F. dan Toksöz, M. N. (1984). *aplication of full waveform acoustics log data to the Estimation of reservoir permeability*. In: 54th Ann. Int. Meeting, Expanded Abstract society of Exploration geophysics, p.9-12.

[11] Krause, Jörg. (1989). *Methodische dan apparative Untersuchungen zum Informationsgehalt akustischer Wellenbildregistrierungen*. Dipl. Geophysiker, TU-Bergakademie Freiberg.

[12] Cheng, C.H, Toksöz and Willis. (1982). *Determination of in situ attenuation from Full waveform acoustic log*. J.of Geophysical Research. V.87, no. B7, p. 5477 – 5484.

[13] Barnes, Arthur. E. (1993). *Instantaneous spectral bandwidth and dominant frequency witapplications to seismic reflection data*, Geophysics, 58, 3, 419-428

BIOGRAFI PENULIS

Kosim, dilahirkan di karawang, 22 Mei 1963. Pendidikan S1 jurusan Pendidikan Fisika selesai di IKIP Bandung tahun 1988. Melalui beasiswa ikatan Dinas DIKTI bekerja sebagai PNS di Universitas Mataram sejak tahun 1989. Pendidikan S2 di Jurusan

Fisika ITB konsentrasi Fisika Kebumihan selesai tahun 1997 dan tahun 1998 berangkat ke Jerman, untuk melanjutkan S3 dengan beasiswa DAAD – PGSM DIKTI berhasil meraih doktor Geofisika tahun 2003 untuk bidang spesialis analisa data well logging. Sekarang aktif sebagai pengajar di FKIP prodi Pendidikan Fisika Universitas Mataram.