Respon AVO dan Pemodelan Substitusi Fluida dengan Menggunakan Teori *Gassmann* dan *Differential Effective Medium* pada Batuan Karbonat

M. Dhany Hambali ¹

^{1.} Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung, Bekasi, Indonesia
Email: dhambali@gmail.com

Informasi naskah:

Diterima
28 Mei 2019
Direvisi
28 Juli 2019
Disetujui terbit
04 Agustus 2019
Diterbitkan
07 Agustus 2019

Abstrak

Pemodelan substitusi fluida menjadi salah satu hal yang penting dalam studi mengenai seismik *attribute*. Pemodelan substitusi fluida dapat melihat anomali dari respon *Amplitude Versus Offset* (AVO) dari batuan tersebut. Anomali dari *Amplitude Versus Offset* pada umumnya disebabkan karena kehadiran dari hidrokarbon atau fluida pada pori batuan. Pendekatan yang biasa digunakan untuk melakukan pemodelan substitusi fluida adalah berdasarkan persamaan Gassmann yang menghubungkan antara modulus bulk pada saat saturasi dengan modulus bulk *frame* batuan dan properties dari fluida pengisi pori nya. Metode lain adalah *Differential Effective Medium* (DEM) yaitu berdasarkan penambahan inklusi fluida secara infinitesimal pada matriks yang telah ada. Hasil pemodelan berupa analisa respon AVO dalam bentuk *crossplot* dari AVO *gradient* dan AVO *intercept* dari batuan tersebut. Hasil analisa pemodelan didapatkan bahwa pemodelan menggunakan Teori Gassmann memberikan kesalahan relatif rata-rata yang paling kecil dibanding dengan menggunakan *Differential Effective Medium*. Dari pemodelan respon AVO dapat diklasifikasikan bahwa batuan karbonat tersebut tergolong kelas I karena memiliki nilai AVO *intercept* yang positif dan AVO *gradient* yang negatif.

Kata-kunci: AVO, *Differential Effective Medium*, Teori Gassmann,

1. PENDAHULUAN

Metode geofisika yang secara umum digunakan untuk mencari minyak bumi adalah metode seismik refleksi. Metode seismik menggunakan sifat penjaran gelombang untuk mendapatkan informasi mengenai geologi di bawah permukaan. Gelombang menjalar di bawah permukaan bumi pada batuan dengan nilai kecepatan yang berbeda bergantung pada parameter fisis dari batuan tersebut. Ketika gelombang tersebut melewati suatu fluida, perubahan perilaku gelombang akan terjadi bila dibandingkan dengan tidak melewati fluida. Jenis batuan yang banyak mengandung pori dan merupakan reservoir dari fluida adalah jenis batuan sedimen, contohnya adalah batuan karbonat. Upaya untuk memahami karakter dan sifat fisis suatu batuan reservoir dari data seismik memerlukan analisis mengenai fisika batuan.

Untuk meningkatkan pencarian terhadap minyak bumi, diperlukan adanya suatu informasi lain yang dapat memetakan bawah permukaan bumi secara lebih akurat dan dapat mendeteksi kandungan fluida yang terdapat di dalam batuan. Salah satu metode yang dipakai untuk meningkatkan kualitas pencitraan tersebut adalah menggunakan analisis *Amplitude Versus Offset* (AVO). AVO yaitu suatu metode dengan melihat hubungan antara sudut datang gelombang seismik dengan besarnya amplitudo seismik yang terdeteksi.

1.1 Ruang Lingkup Kajian

Dalam penelitian ini, ruang lingkup kajian meliputi mempelajari mengenai penjaran gelombang seismik pada batuan karbonat, mempelajari mengenai struktur dan klasifikasi batuan karbonat, mempelajari mengenai pemodelan substitusi fluida, dan mempelajari mengenai konsep analisis *Amplitude Versus Offset* (AVO). Dalam penelitian ini menggunakan MATLAB sebagai *tools* untuk pemodelan.

1.2 Asumsi Dasar

Asumsi dasar yang mendasari penelitian ini adalah dalam suatu pori batuan yang terdapat fluida terutama gas, maka akan terdapat anomali antara amplitudo gelombang seismik yang tercatat dengan jarak (*offset*), yaitu peningkatan *offset* akan mengakibatkan peningkatan koefisien refleksi dari seismik namun hal ini terbatas pada suatu jarak tertentu, serta terdapat sudut maksimum anomali ini dapat berlaku. Anomali tersebut terjadi karena perbedaan parameter batuan (seperti ρ , V_p , V_s , σ dan lain-lain) antara batuan reservoir dengan lapisan gas.

2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan komputasi pemodelan batuan karbonat. Data input berupa data *rock physics* yang didapatkan dari data *core* dari sebuah sumur eksploitasi di batuan karbonat dan kemudian dilakukan *forward modelling* sehingga didapatkan informasi yang diperlukan.

2.1 Teori Gassmann

Untuk melakukan pemodelan substitusi fluida menggunakan teori Gassmann, maka akan dilakukan beberapa langkah perhitungan untuk mendapatkan nilai v_p dan v_s yang diharapkan, langkah-langkah dalam melakukan pemodelan ini antara lain adalah ¹⁾ :

1. Menghitung K_{sat} dan μ pada saat awal (keadaan in-situ)
2. Menghitung estimasi dari matrik K_0 (dapat menggunakan metode Voigh-Reuss-Hill)
3. Menghitung properti dari fluida (K_{fluid} dan ρ_{fluid})
4. Menghitung nilai modulus bulk frame (K^*)
5. Mengubah jenis fluida pengisi pori dan menghitung properti fluida yang baru
6. Menghitung modulus bulk saturasi (K_{sat}) dan densitas yang baru
7. Menghitung kecepatan gelombang P dan gelombang S

2.2 Differential Effective Medium (DEM)

Pemodelan substitusi fluida menggunakan *Differential Effective Medium* didasari dari dua persamaan differential yang terkopel yang dapat dipecahkan secara numeric dengan metode Euler menjadi :

$$K_{(y_{i+1})}^* = K_{(y_i)}^* + \frac{(K_2 - K_{(y_i)}^*)}{(1 - y_i)} P_{(y_i)}^{*2} \Delta y \quad (1)$$

$$\mu_{(y_{i+1})}^* = \mu_{(y_i)}^* + \frac{(\mu_2 - \mu_{(y_i)}^*)}{(1 - y_i)} Q_{(y_i)}^{*2} \Delta y \quad (2)$$

Dalam pemodelan ini, menggunakan geometri pori dengan bentuk bola (*spherical*), dengan nilai P dan Q adalah :

$$P_{(y)}^{*2} = \frac{K_{(y)}^* + \frac{4}{3} \mu_{(y)}^*}{K_2 + \frac{4}{3} \mu_{(y)}^*} \quad (3)$$

$$Q_{(y)}^{*2} = \frac{\mu_{(y)}^* + \xi^*}{\mu_2 + \xi^*} \quad (4)$$

$$\xi_{(y)}^* = \frac{\mu_{(y)}^* (9K_{(y)}^* + 8\mu_{(y)}^*)}{6(K_{(y)}^* + 2\mu_{(y)}^*)} \quad (5)$$

Dalam model *Differential Effective Medium* ini, pada kondisi awal (*initial*) digunakan nilai modulus bulk saturasi, yaitu modulus bulk yang didapat dari rumusan²⁾ :

$$K_{initial} = \rho(v_p^2 - \frac{4}{3} v_s^2) \quad (6)$$

sedangkan modulus geser initial didapatkan dari modulus geser saturasi pada saat kondisi awal sebelum dilakukan substitusi fluida, yaitu ²⁾:

$$\mu_{initial} = \rho v_s^2 \quad (7)$$

Pada penelitian ini menggunakan dua jenis nilai dari y , yaitu y = porositas dan $y = \phi / \phi_c$ dengan ϕ_c adalah porositas kritis dari batuan, dalam hal ini adalah batu gamping dengan nilai porositas kritisnya adalah 0.4 ³⁾.

2.3 Crossplot AVO intercept dan AVO gradient

Untuk melakukan *crossplot AVO intercept* dan *AVO gradient* digunakan penyederhanaan persamaan Zoeppritz yaitu aproksimasi Aki-Richard dan Frasier ⁴⁾:

$$R(\theta) = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right) + \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\beta}{\beta} - 2 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\rho}{\rho} \right) \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (8)$$

Maka dari persamaan tersebut :

AVO intercept adalah :

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right) \quad (9)$$

AVO gradient adalah :

$$\frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\beta}{\beta} - 2 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (10)$$

Dengan

$$\Delta\alpha = \frac{v_{p2} - v_{p1}}{2}$$

$$\Delta\beta = \frac{v_{s2} - v_{s1}}{2}$$

$$\Delta\rho = \frac{\rho_2 - \rho_1}{2}$$

$$\alpha = v_{p2} + v_{p1}$$

$$\beta = v_{s2} + v_{s1}$$

$$\rho = \rho_2 + \rho_1$$

3. PEMBAHASAN DAN DISKUSI

3.1 Pemodelan Substitusi Fluida

Hasil pemodelan mengindikasikan substitusi fluida menggunakan Teori *Gassmann* dan *Differential Effective Medium* menghasilkan kesalahan relatif yang bervariasi (dilihat dari Tabel.1). Kehadiran *clay* pada batuan karbonat membuat estimasi dari model *Gassmann* menjadi *overcorrected* dikarenakan *clay* akan menyerap air dan menjaga air tersebut tetap berada di *clay* walaupun dalam keadaan pengeringan (*drainage*)⁵⁾. Pengaruh dari pH juga dapat menimbulkan adanya interaksi antara fluida dan *frame* dan berakibat pada perubahan nilai estimasi dari modulus *shear* dan modulus *bulk*⁵⁾. Bentuk pori batuan karbonat juga memberikan kontribusi dalam kesalahan pemodelan ini. Batuan karbonat memiliki jenis pori yang beragam, salah satu jenis pori tersebut adalah *intercrystalin*. Pori *intercrystalin* dan *intergranular* memiliki nilai modulus *shear* yang berkurang seiring dengan meningkatnya saturasi⁵⁾, hal ini bertentangan dengan asumsi dari teori *Gassmann* yang menyatakan bahwa modulus geser tidak berubah selama substitusi fluida. Untuk model *Differential Effective medium*, diperlukan pemahaman yang lebih kompleks mengenai struktur dan geometri dari pori batuan karena dalam pemodelan ini geometri pori merupakan salah satu faktor yang memberikan pengaruh signifikan.

Tabel 1 : Kesalahan Relatif Pemodelan Substitusi Fluida

No		Gassmann	DEM
1	Brine menjadi gas	-6.732%	-4.935%
2	Brine menjadi oil	19.715%	11.061%
3	Gas menjadi brine	5.517%	28.735%
4	Gas menjadi oil	8.026%	-19.07%
5	Oil menjadi brine	10.345%	-13.058%
6	Oil menjadi gas	10.917%	-15.203%

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

Gambar 1: Hasil Pemodelan Substitusi Fluida (a) brine menjadi gas, (b) brine menjadi oil, (c) gas menjadi brine, (d) gas menjadi oil, (e) oil menjadi brine, (f) oil menjadi gas

3.2 Crossplot AVO Intercept dan AVO Gradient

Dari hasil *crossplot* AVO intercept dan AVO gradient dapat dibandingkan antara *crossplot* pada kondisi awal (*initial*) dan *crossplot* pada kondisi setelah dilakukannya substitusi fluida. Hasil yang didapat dari *crossplot* AVO intercept dan AVO gradient bervariasi namun keseluruhan pemodelan memiliki nilai kecenderungan yang konsisten, yaitu memiliki nilai AVO gradient yang negatif dan AVO intercept yang positif, yang membedakan adalah nilai untuk tiap AVO gradient dan AVO interceptnya. Hal tersebut secara konsisten menyatakan bahwa batuan karbonat diklasifikasikan sebagai AVO kelas I.

(a)

(b)

Gambar 2: *Crossplot* AVO Intercept dan AVO Gradient : (a) hasil pemodelan Gassmann, (b) hasil pemodelan DEM

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemodelan substitusi fluida dan respon AVO pada sample batuan karbonat, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain model *Gassmann* menghasilkan estimasi nilai kecepatan gelombang seismik yang terbaik bila dibandingkan dengan model *Differential Effective Medium* (DEM). Dari hasil respon *crossplot* AVO, didapatkan kesimpulan bahwa kelas AVO untuk sampel batuan karbonat tersebut adalah kelas 1 yang memiliki AVO *intercept* yang bernilai positif dan AVO *gradient* yang negatif.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *Wave Inversion and Subsurface Fluid Imaging Research* (WISFIR) Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung yang telah membantu pada penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Smith, T.M., Sondergeld, C.H., Rai, C.S., (2003), *Gassmann Fluid Substitutions: A Tutorial*, *Geophysics*, 68, 430-440.
- 2) Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics 2nd edition*, Cambridge University Press.
- 3) Wang, Z., Nur, A., *Seismic and Acoustic Velocities in Reservoir Rocks Vol. 3, Recent Development Geophysics reprint series*, Society of Exploration Geophysics.
- 4) Castagna, J.P., Backus, M.M., (1993), *Offset-Dependent Reflectivity-Theory and Practice of AVO Analysis*, Society of Exploration Geophysics.
- 5) Misaghi, A et al., (2010), Comparison of Rock Physics Models for Fluid Substitution in Carbonate Rocks, *Exploration Geophysics*, 41, 146-154.
- 6) Castagna, J., Swan, H.W., Foster, D.J., (1998), Framework for AVO Gradient and Intercept Interpretation, *Geophysics*, 63, 948-956.
- 7) Rutherford, S. R., and Williams, R. H., (1989), Amplitude-versus-offset Variations in Gas Sands, *Geophysics*, 54, 680-688.
- 8) Kumar, D., (2006), A Tutorial on Gassmann Fluid Substitution : Algorithm and Matlab Code , *Geohorizon*, January 2006/4.
- 9) Wu, T. T., (1966), The Effect of Inclusion Shape on The Elastic Moduli of a Two-Phase Material, *International Journal of Solids and Structures*, 2, 1-8. doi:10.1016/0020-7683(66)90002-3.
- 10) Berryman, J. G., (1995), Differential Effective Medium Modelling of Rock Elastic Moduli with Critical Porosity Constraints, *Geophysical Research Letters*, 2, 555-558.
- 11) Fauzi, U., (2002), *Diktat Kuliah Fisika Batuan*, ITB.