

PEMODELAN HASIL ANALISIS SEDERHANA NILAI IMPEDANSI AKUSTIK P – WAVE PADA FORMASI SARVAK MENGGUNAKAN MATLAB

**Nisya Aviani, Kevin Daniel C.Munthe, Mei Devi Bun, Gilang Reyhan, Imam
Zulqaisi dan Widya Utama**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email: nisyaaviani@gmail.com kevin.munthe68@gmail.com deebun27@gmail.com
gilang.reyhan.ababil@gmail.com zulqaisiimam@gmail.com, wu.explorer@gmail.com

Abstract

Iran is a country that has a stratigraphic unit of thick carbonate in the Zagros region of the southern coast of Neotitis, known as the Sarvak formation which is quite significant as a producer of hydrocarbons. The purpose of adding acoustic impedance parameters in this study is to obtain an accurate type of lithology for each depth of carbonate layer in the Sarvak formation. The results were modeled using MATLAB in order to simply analyze the characteristics of the carbonate layer. In searching for hydrocarbons, an indicator is needed to detect its location by knowing the value of seismic wave velocity. The Gassman equation is commonly used in the search for wave velocity values with various assumptions, but one of the assumptions of the rock model is likened to being homogeneous, making this method invalid, because the carbonate constituent rocks are anisotropic. With another alternative method, the value of the P wave velocity can be determined using the DEM method. In practice, the type of lithology of each carbonate layer cannot be found accurately only by knowing the acoustic impedance value classified in table 1 and table 2, so further research is needed to determine the characterization of lithology constituent rocks using AVO software, log data, and other supporting parameters. such as EEI (Extended Elastic Impedance)

Keyword : Gassman, acoustic impedance, P wave velocity.

Abstrak

Iran merupakan suatu negara yang memiliki satuan stratigrafi dari karbonat tebal di wilayah Zagros pesisir selatan Neotitis yang dikenal dengan formasi Sarvak yang cukup signifikan sebagai penghasil hidrokarbon. Tujuan penambahan parameter impedansi akustik pada penelitian ini agar didapatkan jenis litologi yang akurat dari setiap kedalaman lapisan karbonat di formasi Sarvak. Hasil tersebut dimodelkan dengan MATLAB agar dapat dianalisis secara sederhana karakteristik dari lapisan karbonat tersebut. Dalam pencarian hidrokarbon dibutuhkan indikator untuk mendeteksi letaknya dengan mengetahui nilai kecepatan gelombang seismik. Persamaan gassman umum digunakan dalam pencarian nilai kecepatan gelombang dengan berbagai asumsinya, namun salah satu asumsi model batuan diibaratkan homogen membuat metode ini tidak valid, sebab batuan penyusun karbonat anisotropik. Dengan metode alternatif lain, nilai kecepatan gelombang P dapat diketahui menggunakan metode DEM. Pada praktiknya, jenis litologi dari setiap

lapisan karbonat tidak dapat ditemukan secara akurat hanya dengan mengetahui nilai impedansi akustik yang diklasifikasi pada tabel 1 dan tabel 2, sehingga dibutuhkan penelitian lanjutan untuk mengetahui karakterisasi batuan penyusun litologi menggunakan *software AVO*, data log, serta parameter pendukung lainnya seperti EEI (*Extended Elastic Impedance*).

Kata kunci: Gassman, impedansi akustik, kecepatan gelombang P

Pendahuluan

Iran adalah suatu negara yang memiliki satuan stratigrafi dari karbonat tebal akibat siklus sedimen yang terendapkan di wilayah Zagros pesisir selatan Neotitis (James & Wynd, 1965). Satuan tersebut dikenal dengan formasi Sarvak sebagai rangkaian karbonat yang tersusun atas batuan sedimen non – klastik dengan jumlah yang cukup signifikan sebagai penghasil hidrokarbon dan dapat mendeskripsikan respon kecepatan ultrasonik batuan karbonat terhadap porositas, permeabilitas, tekstur, cairan dan tekanan (Vincent et al., 2015). Pemodelan fisika batuan karbonat yang diaplikasikan pada persamaan Gasman yang telah dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang P – seismik pada formasi Sarvak. Pemodelan ini berupa kecepatan yang didapatkan dari persamaan gasman pada beberapa kondisi seperti kondisi sebelum dan sesudah fluida tersubstitusi pada batuan dapat dijadikan pembanding pada kecepatan gelombang P dan gelombang S. Dengan beberapa asumsi Gassman, antara lain (1) Semua pori harus saling berhubungan; (2) Model batuan diasumsikan homogen; (3) Pori-pori diisi dengan suatu fluida yang bebas dari gesekan; (4) Fluida di dalam pori tidak berinteraksi dengan bagian solidnya (tidak membuat rapuh atau kuat suatu kerangka).

Hal tersebut mendorong penelitian kali ini untuk mengetahui jenis litologi pada lapisan karbonat secara akurat disetiap kedalaman lapisan formasi sarvak menggunakan nilai impedansi akustik yang didapatkan dari kecepatan gelombang P – seismik dengan metode yang tepat. Pengetahuan akan jenis litologi secara akurat dari setiap kedalaman lapisan dapat dimanfaatkan untuk eksplorasi, mitigasi, ataupun penelitian lanjutan. Masyarakat dapat memahami karakteristik dari suatu lapisan yang tersusun atas batuan karbonat. Juga, dapat diketahui metode yang dapat digunakan dengan tepat.

Batuan karbonat memiliki perbedaan inklusi dan kepadatan yang berbeda – beda serta pori-pori dengan ukuran yang besar menyebabkan kurang sensitif terhadap perubahan tekanan untuk frekuensi seismik, hamburan gelombang ultrasonik yang signifikan. Untuk tekanan yg efektif rendah akibat patahan dan rekahan terbuka, perbedaan antara kecepatan yang diperkirakan oleh Gassmann dan nilai terukur untuk batuan jenuh meningkat, begitu pun sebaliknya. Namun, salah satu asumsi menyatakan bahwa pori satu sama lain harus terhubung, sedangkan disebagian besar batuan karbonat terdapat banyak pori yang terisolasi, maka asumsi tersebut belum tentu valid (Adam, Batzle, & Brevik, 2005).

Gassman telah digunakan secara luas dalam industri minyak dan gas untuk identifikasi fluida dan aplikasi pemantauan reservoir, meskipun dengan berbagai asumsinya. Persamaan Gassman (1) memberikan hubungan antara modulus bulk batuan tersaturasi, modulus bulk batuan kering, porositas, modulus bulk dari matriks mineral, dan modulus bulk dari fluida pengisi pori. Sedangkan persamaan Gassmann (2) hanya menyatakan modulus geser batuan tidak bergantung pada keberadaan fluida jenuh. Tidak semua asumsi Gassman dapat diaplikasikan pada setiap lokasi penelitian, asumsi pemodelan batuan homogen tidak dapat diaplikasikan pada batuan karbonat, sehingga

dicari metode alternatif lain untuk mendapatkan kecepatan gelombang P. *Differential Effective Medium* (DEM) merupakan teori yang digunakan untuk memprediksi sifat elastis batuan agregat berpori dan anisotropik dengan mengambil sudut pandang bahwa material komposit dapat dibangun dengan membuat perubahan yang sangat kecil dalam komposit yang sudah ada (Surjono, Santika, & Asy'ari, 2018). Metode DEM sendiri diketahui menjadi salah satu metode alternatif yang digunakan pada batuan yang diasumsikan anisotropik dengan persamaan (4) dan (5).

$$Vp = \sqrt{\frac{K_{sat} + \frac{4}{3}\mu_{sat}}{\rho_B}} \quad (1)$$

$$\mu_{sat} = \mu_{dry} \quad (2)$$

$$Vs = \sqrt{\frac{\mu_{sat}}{\rho_B}} \quad (3)$$

$$(1 - y) \frac{d}{dy} [K^*(y)] = (K_2 - K^*) - P^{*i} \quad (4)$$

$$(1 - y) \frac{d}{dy} [\mu^*(y)] = (\mu_2 - \mu^*) - Q^{*i} \quad (5)$$

Dimana, μ merupakan modulus *shear* dan ρ_B merupakan densitas bulk, sedangkan y merupakan porositas, $K^*(y)$ merupakan modulus bulk efektif, K^* merupakan modulus bulk matriks, K_2 merupakan inklusi modulus bulk, P^{*i} merupakan faktor geometri dari inklusi material ke $-i$ pada latarbelakang lapisan dengan modulus bulk matriks, $\mu^*(y)$ merupakan modulus geser efektif, μ^* merupakan modulus geser matriks, μ_2 merupakan inklusi modulus geser, serta Q^{*i} faktor geometri dari inklusi material ke $-i$ pada latarbelakang lapisan dengan modulus geser matriks.

Tabel 1. Klasifikasi litologi berdasarkan gelombang P (Mojo, Efendi, & Abdullah, 2018)

Jenis	Kecepatan (km/s)
Pasir kering	0.2 – 1
Pasir (Tersaturasi air)	1.5 – 2
Pasir (Tidak tersaturasi air)	1 – 1.5
Tanah liat	1 – 2.5
Lempung bercampur pasir	1.5 – 2.5
Permaforst	3.5 – 4
Batu pasir	2 – 6
Batu pasir tersier	2 – 2.5
Pennantsandstone (Carboniferous)	4 – 4.5
Cambrian quartzite	5.5 – 6
Batu kapur	2 – 6
Cretaceous Chalk	2 – 2.5
Jurassic oolites and bioclastic limestones	3 – 4
Carboniferous limestones	5 – 5.5

Dolomites	2.5 – 6.5
Salt / garam	4.5 – 5
Anhydrite	4.5 – 6.5
Gypsum	2 – 3.5

Impedansi akustik sebagai parameter sifat fisika batuan untuk mengetahui kemampuan suatu batuan dilewati oleh gelombang $P -$ seismik. Nilai impedansi akustik hanya menggunakan kecepatan gelombang $P -$ seismik yang mengikuti aturan dari hukum Snellius. Ketika lapisan batuan yang dilalui gelombang seismik memiliki nilai impedansi akustik yang berbeda dari nilai pada lapisan sebelumnya akan direfleksikan kembali ke permukaan dan sebagian lagi merambat dibawah permukaan (Hutabarat, 2009). Sehingga, nilai impedansi akustik hanya dimiliki oleh gelombang $P -$ seismik karena sudut datang gelombang $S -$ seismik tidak dapat direfleksikan berdasarkan sifat gelombang transversal dan longitudinal. Parameter ini dapat digunakan sebagai indikator litologi, porositas, hidrokarbon, dan karakterisasi reservoir dengan penelitian lanjutan.

$$IA = \rho v \quad (6)$$

Dimana ρ merupakan densitas (gr/cc) dan v merupakan kecepatan gelombang $P -$ seismik (km/s)

Tabel 2. Klasifikasi litologi berdasarkan Impedansi Akustik gelombang P pada berbagai batuan sedimen (Posgay et al., 1995)

Batuan	Impedansi Akustik (gr km/cc s)
Zona Lapuk	0.12 – 0.9
Pasir Kering	0.28 – 1.4
Lempung	1.5 – 6.5
Batu Pasir Lepas	1.7 – 6
Batu Pasir Kompak	4 – 11.6
Marl	2 – 12
Batu gamping, Dolomit	3.5 – 18
Auhidrit, Batu garam	11 – 14
Batu bara	3 – 3.5
Udara	0.0004
Minyak Bumi	1.2 – 1.5
Air	1.4
Es	1.6

Porositas berhubungan erat dengan kecepatan gelombang dan impedansi akustik dengan mengukur volume pori yang tersedia dalam batuan dan permeabilitas mengindikasikan aliran fluida melalui ruang pori batuan. Jika volume batuan solid di notasikan sebagai V_m dan volume pori sebagai $V_p = V - V_m$, maka porositas dapat didefinisikan sebagai persamaan (7) (Sismanto, 2012). Dengan hampir semua reservoir minyak dan gas bumi terbentuk dari batuan sedimen dengan nilai porositas berkisar antara 10-40% untuk batu pasir dan 5-25% pada karbonat (Keelan, 1982).

$$\phi = \frac{V_p}{V} = 1 - \frac{V_m}{V} \quad (7)$$

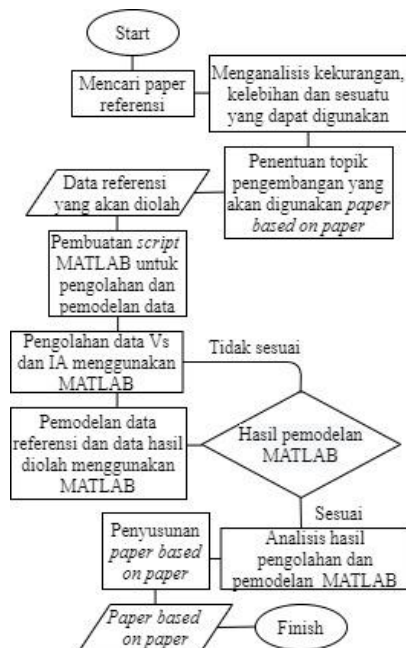
Dengan klasifikasi nilai porositas para reservoir sebagai berikut:

Tabel 3. Klasifikasi kualitas batuan berdasarkan nilai porositas (Shekhah et al., 2009).

No	Klasifikasi	Nilai Porositas (%)
1	Dapat Diabaikan	0 – 5
2	Buruk	5 – 10
3	Cukup	10 – 15
4	Baik	15 – 20
5	Sangat Baik	20 – 25
6	<i>Excellent</i>	>25

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data olahan formasi Sarvak, Iran (Wang, Wang, & Cates, 2001). dengan menentukan kecepatan gelombang P – Seismik menggunakan alternatif lain dari persamaan Gassmann, yaitu DEM Model karena beberapa asumsi Gassman yang tidak dapat diaplikasikan pada batuan karbonat dilanjutkan dengan mengolah data menjadi nilai impedansi kecepatan gelombang P – Seismik agar dapat mengetahui mineral yang terkandung pada setiap kedalaman lapisan karbonat. Pemodelan hasil pengolahan data dilakukan menggunakan MATLAB. Data yang telah tersedia pada referensi diolah untuk mendapatkan parameter baru, yaitu nilai impedansi akustik untuk mengetahui litologi secara akurat dari tiap lapisan formasi Sarvak berdasarkan tabel 6.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan paper

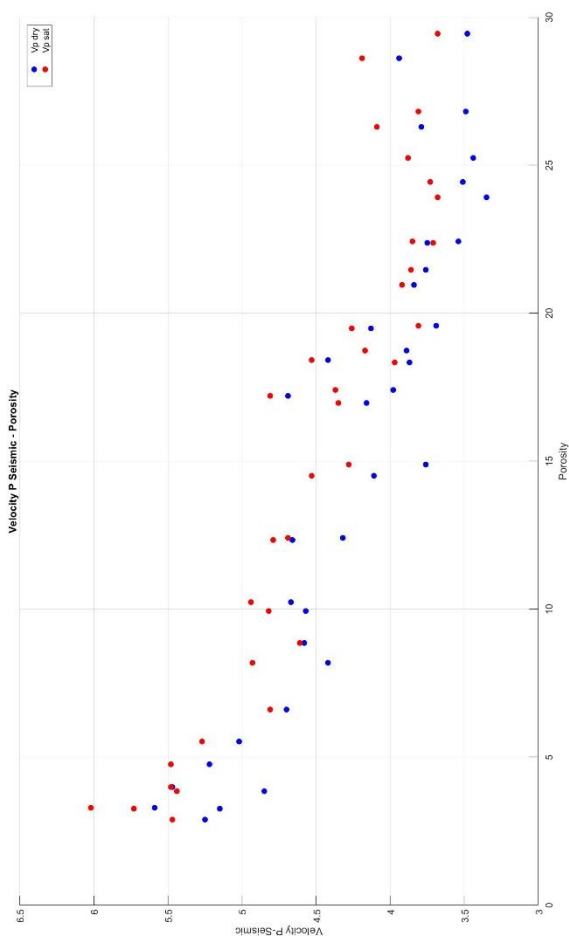
Hasil Pembahasan

Hasil pengolahan data berupa nilai *sat vs*, *dry vs*, *acoustic impedance dry vp*, dan *acoustic impedance sat vp*. Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu persamaan Gassman, dan *differential effective medium*. Asumsi persamaan Gassman tidak *valid* pada semua jenis batuan, sehingga dibutuhkan alternatif lain. Pada batuan karbonat sendiri, memiliki pori yang terisolasi sehingga pori satu sama lain tidak dapat berhubungan seperti

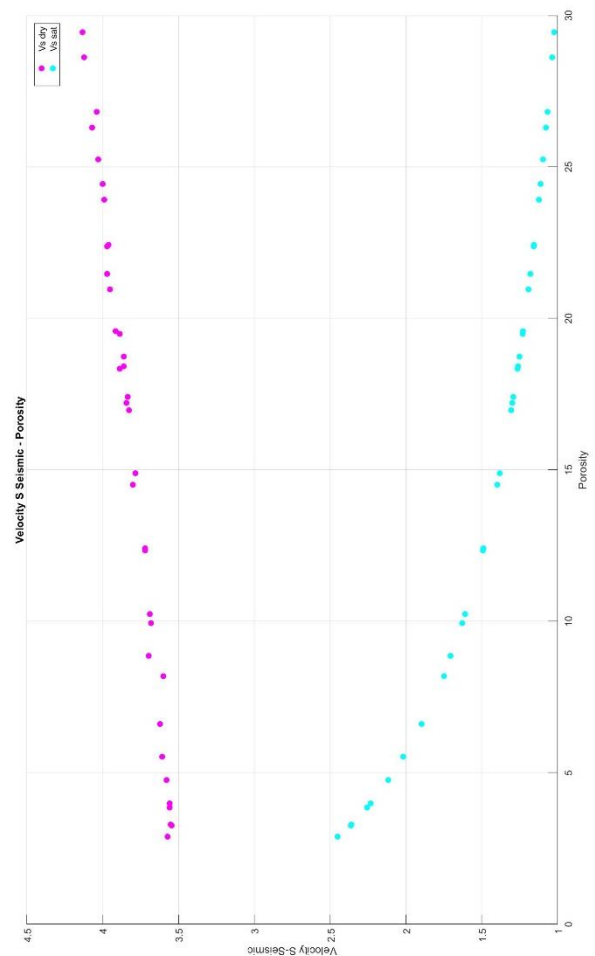
asumsi (1) Gassman. Pori karbonat yang terisolasi disebabkan mineralogi pada karbonat sangat dipengaruhi oleh fasies dan diagenesis, seperti halnya terdapat jenis rangka fosil laut dangkal pada tubuh batuan karbonat dari lingkungan pengendapannya (ket. Gbr 2) Kecepatan gelombang seismik P pada saat batuan tersaturasi selalu bernilai lebih besar dibandingkan batuan keadaan kering. Hal ini membuktikan bahwa gelombang P mampu bekerja dengan baik pada medium padat, cair atau gas, meskipun pori batuan dalam keadaan terisolasi. Nilai kecepatan gelombang seismik P yang berbeda pada tiap lapisan dipengaruhi jumlah komposisi mineral penyusun dan jenis komposisi mineral penyusun. Serta, adanya faktor luar yang tidak terduga seperti keterdapat fosil pada tubuh dalam batuan (ket. Gbr 2) Gelombang seismik S yang hanya mampu merambat dalam medium padat dan tegak lurus terhadap arah rambat gelombang sangat terlihat jelas pada gambar 2. Batuan yang tersaturasi lama – kelamaan kehilangan kecepatannya dibandingkan batuan yang kering. Hal ini sebagai koreksi bahwa gelombang seismik S tidak mampu merambat pada saat fluida disubstitusikan, sehingga gelombang seismik S tidak digunakan pada analisis impedansi akustik.

Nilai impedansi akustik berbanding lurus dengan kecepatan gelombang seismik, yang berarti akan berbanding terbalik dengan nilai porositas. Pada gambar 4, impedansi akustik gelombang P – seismik batuan kering memiliki grafik yang sesuai dengan hubungan impedansi akustik terhadap porositas, namun pada bagian batuan tersaturasi mengalami nilai impedansi besar pada porositas yang besar. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang sudah ada, besar impedansi yang berbanding lurus dengan porositas pada batuan tersaturasi sejauh ini belum ditemukan pada penelitian yang telah ada, namun dugaan kami disebabkan oleh fluida yang menyerap pada kerangka batuan sehingga tetap dapat membantu gelombang P – seismik merambat dengan cepat.

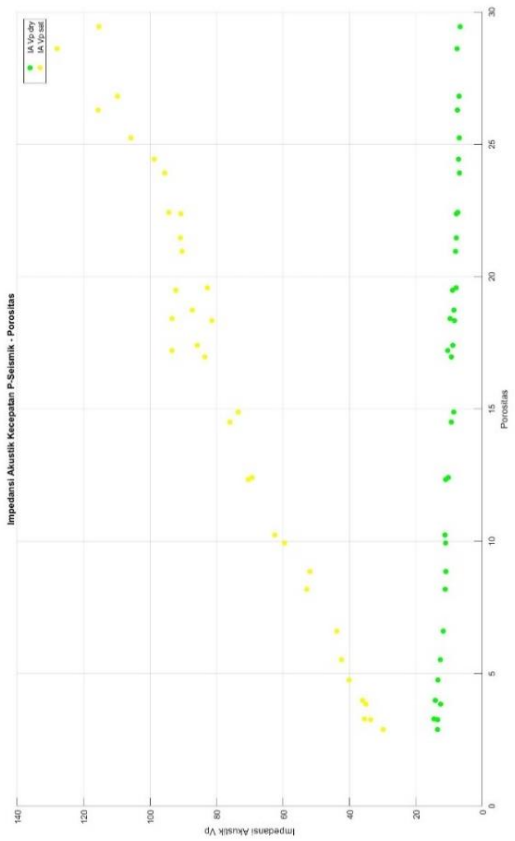
Pemodelan bawah lapisan menggunakan MATLAB ini dapat memudahkan analisis perbandingan dari tiap parameter yang digunakan untuk mengetahui karakter fisika batuan tiap lapisan. Seperti pada sinyal V_{Sdry} menggambarkan kecepatan gelombang S – seismik bekerja maksimum pada batuan kering dibandingkan gelombang P – seismik. Serta porositas memiliki nilai yang berarti pada kedalaman tertentu dan terbukti berbanding terbalik pada kecepatan gelombang P – seismik keadaan kering maupun tersaturasi. Kisaran nilai impedansi dari setiap lapisan dapat diketahui menurut klasifikasi menggunakan v_p dan impedansi akustik pada tabel 4. Pada praktiknya, ternyata klasifikasi menurut (Mojo et al., 2018) tidak sinkron hanya dengan salah satu indikator yaitu v_p saja atau impedansi saja, sehingga dibutuhkan penelitian lanjutan untuk mengetahui karakterisasi batuan penyusun litologi menggunakan software AVO, data log, serta parameter pendukung lainnya seperti EEI (*Extended Elastic Impedance*).



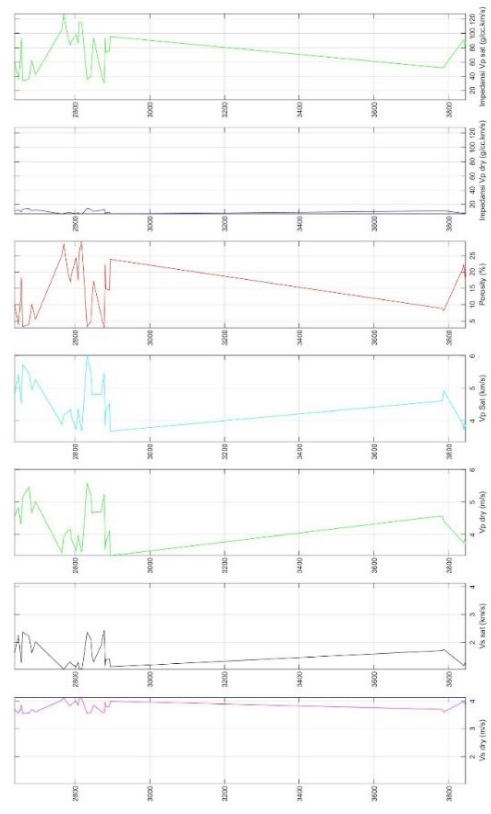
Gambar 2. Perbandingan kecepatan gelombang P – seismik kondisi kering dan tersaturasi terhadap porositas



Gambar 3. Perbandingan nilai kecepatan gelombang S – seismik kondisi kering dan tersaturasi terhadap porositas



Gambar 4. Grafik impedansi akustik gelombang P – seismik terhadap Porositas



Gambar 5. Pemodelan beberapa parameter fisika batuan, $V_{p_{sat}}$, $V_{s_{sat}}$, $V_{p_{sat}}/V_{s_{sat}}$, impedansi akustik dari masing – masing V_p dan V_s pada dua kondisi

Tabel 4. Klasifikasi litologi berdasarkan nilai impedansi akustik (Posgay et al., 1995) dan kecepatan gelombang P (Mojo et al., 2018)

Depth (m)	Dry Vp (km/s)	Acoustic Impedance Dry Vp (gr.km/cc.s)	Klasifikasi litologi berdasarkan Impedansi Akustik (Posgay, 1967)	Klasifikasi litologi berdasarkan kecepatan gelombang P (Triat Mojo, Effendi, & Abdullah, 2018)
2638.4	4.57	1.1059	Pasir kering	Anhidrit
2648.6	4.85	1.2562	Minyak bumi	Anhidrit
2654.5	4.32	1.0238	Pasir kering	Pennantsandstone
2656	4.42	0.9724	Pasir kering	Pennantsandstone
2660.1	5.15	1.3441	Minyak bumi	Anhidrit
2676.7	5.47	1.4167	Minyak bumi	Anhidrit
2684.3	4.67	1.1255	Pasir kering	Anhidrit
2694.1	5.02	1.2650	Minyak bumi	Anhidrit
2765.2	3.44	0.6949	Pasir kering	Bioclastic limestone
2770	3.94	0.7604	Pasir kering	Bioclastic limestone
2781.4	4.13	0.8962	Pasir kering	Pennantsandstone
2788	4.16	0.9318	Pasir kering	Pennantsandstone
2789.3	3.89	0.8558	Pasir kering	Bioclastic limestone
2802.6	3.51	0.7195	Pasir kering	Bioclastic limestone
2808.2	3.98	0.8875	Pasir kering	Bioclastic limestone
2811.5	3.79	0.7504	Pasir kering	Bioclastic limestone
2817.4	3.48	0.6682	Pasir kering	Bioclastic limestone
2819.1	3.49	0.7015	Pasir kering	Bioclastic limestone
2832.3	5.59	1.4534	Minyak bumi	Dolomit
2842.3	5.22	1.3363	Minyak bumi	Carboniferous limestone
2845.9	4.66	1.1044	Pasir kering	Anhidrit
2849.7	4.69	1.0412	Pasir kering	Anhidrit
2870	4.7	1.1750	Pasir kering	Anhidrit
2878	5.25	1.3493	Pasir kering	Anhidrit
2881.1	3.54	0.7399	Pasir kering	Bioclastic limestone
2882.4	3.76	0.8610	Pasir kering	Bioclastic limestone
2892.5	4.11	0.9330	Pasir kering	Pennantsandstone
2894.2	3.35	0.6901	Pasir kering	Bioclastic limestone
3783.1	4.58	1.0992	Pasir kering	Anhidrit
3786.6	4.42	1.1183	Pasir kering	Pennantsandstone
3839.4	3.76	0.7821	Pasir kering	Bioclastic limestone
3839.9	3.75	0.7800	Pasir kering	Bioclastic limestone
3844.3	3.87	0.8398	Pasir kering	Bioclastic limestone
3844.5	3.84	0.8064	Pasir kering	Bioclastic limestone
3845.8	3.69	0.7897	Pasir kering	Bioclastic limestone

Tabel 5. Hasil Pengolahan Data menggunakan MATLAB Berdasarkan Data Paper Sumber (Misaghi, Negahban, Landrø, & Javaherian, 2010).

Lithology	Depth (m)	Density Bulk (g/cc)	Porosity (%)	Permeability (mD)	Dry Vp (km/s)	Sat Vp (km/s)	Dry Vs (km/s)	Sat Vs (km/s)	IA Dry Vp (gr.km/cc.s)	IA Sat Vp (gr.km/cc.s)
Carbonate	2638.4	2.42	9.94	0.46	4.57	4.82	3.6815	1.1490	1.1059	1.1976
Carbonate	2648.6	2.59	3.85	0.08	4.85	5.44	3.5587	1.3851	1.2562	0.9301
Carbonate	2654.5	2.37	12.41	3.47	4.32	4.69	3.7202	1.1171	1.0238	1.2328
Carbonate	2656	2.20	18.42	10.12	4.42	4.53	3.8612	1.7222	0.9724	0.5009
Carbonate	2660.1	2.61	3.26	0.12	5.15	5.73	3.5450	1.7428	1.3441	0.6187
Carbonate	2676.7	2.59	3.99	0.66	5.47	5.48	3.5587	1.1677	1.4167	1.3183
Carbonate	2684.3	2.41	10.24	1.07	4.67	4.94	3.6892	1.1504	1.1255	1.2244
Carbonate	2694.1	2.52	5.53	0.51	5.02	5.27	3.6078	1.2541	1.2650	1.0991

Pemodelan Hasil Analisis Sederhana Nilai Impedansi Akustik $P - Wave$ Pada Formasi Sarvak Menggunakan Matlab

Carbonate	2765.2	2.02	25.25	74.4	3.44	3.88	4.0296	1.1948	0.6949	0.8915
Carbonate	2770	1.93	28.62	73.04	3.94	4.19	4.1225	1.2350	0.7604	0.9011
Carbonate	2781.4	2.17	19.49	1.89	4.13	4.26	3.8878	1.0938	0.8962	1.1679
Carbonate	2788	2.24	16.97	23.96	4.16	4.35	3.8266	1.0310	0.9318	1.3422
Carbonate	2789.3	2.20	18.74	6.13	3.89	4.17	3.8612	1.9297	0.8558	0.3673
Carbonate	2802.6	2.05	24.44	59.78	3.51	3.73	4.0000	2.5769	0.7195	0.1842
Carbonate	2808.2	2.23	17.41	7.67	3.98	4.37	3.8352	1.3843	0.8875	0.7480
Carbonate	2811.5	1.98	26.3	179.15	3.79	4.09	4.0701	1.2361	0.7504	0.8780
Carbonate	2817.4	1.92	29.45	95.93	3.48	3.68	4.1332	1.3178	0.6682	0.6950
Carbonate	2819.1	2.01	26.82	228.15	3.49	3.81	4.0396	1.2574	0.7015	0.7904
Carbonate	2832.3	2.60	3.29	2.38	5.59	6.02	3.5518	1.1015	1.4534	1.6275
Carbonate	2842.3	2.56	4.76	0.35	5.22	5.48	3.5795	1.2817	1.3363	1.0942
Carbonate	2845.9	2.37	12.34	2.24	4.66	4.79	3.7202	1.0697	1.1044	1.3730
Carbonate	2849.7	2.22	17.21	70.54	4.69	4.81	3.8438	1.0178	1.0412	1.5230
Carbonate	2870	2.50	6.61	0.1	4.7	4.81	3.6222	1.0578	1.1750	1.4100
Carbonate	2878	2.57	2.89	0.03	5.25	5.47	3.5725	2.3660	1.3493	0.3205
Carbonate	2881.1	2.09	22.43	2.86	3.54	3.85	3.9615	2.1884	0.7399	0.2637
Carbonate	2882.4	2.29	14.89	1.09	3.76	4.28	3.7846	1.4974	0.8610	0.6261
Carbonate	2892.5	2.27	14.51	0.81	4.11	4.53	3.8012	1.2977	0.9330	0.8823
Carbonate	2894.2	2.06	23.92	6.32	3.35	3.68	3.9903	1.6534	0.6901	0.4415
Carbonate	3783.1	2.4	8.86	0.23	4.58	4.61	3.6968	2.2910	1.0992	0.2881
Carbonate	3786.6	2.53	8.19	0.17	4.42	4.93	3.6006	1.4818	1.1183	0.7364
Sandstone	3839.4	2.08	21.47	490.75	3.76	3.86	3.9710	1.2650	0.7821	0.7912
Sandstone	3839.9	2.08	22.38	362.74	3.75	3.71	3.9710	2.3247	0.7800	0.2252
Sandstone	3844.3	2.17	18.34	806.29	3.87	3.97	3.8878	2.4579	0.8398	0.2155
Sandstone	3844.5	2.1	20.96	2208.35	3.84	3.92	3.9521	1.6305	0.8064	0.4836
Sandstone	3845.8	2.14	19.58	1364.71	3.69	3.81	3.9150	2.0681	0.7897	0.2922

Kesimpulan

Batuan karbonat memiliki pori yang terisolasi sehingga pemodelan Gassman pada formasi Sarvak yang berada pada satuan stratigrafi karbonat tebal membuat asumsi (1) Gassman tidak valid. Alternatif lain untuk mengukur kecepatan gelombang P ketika tersubstitusi fluida salah satunya menggunakan *differential effective model*, yang menunjukkan bahwa ada metode selain persamaan Gassman yang lebih efektif. Nilai kecepatan gelombang P – seismik dan S – seismik pada setiap lapisan berbeda berbanding lurus dengan nilai impedansi akustik, yang menunjukkan adanya perbedaan litologi antara lapisan satu dengan lapisan lainnya. Nilai impedansi akustik kering sebesar 0.6682 – 1.4534 gr.km/cc.s. Sedangkan pada batuan yang tersaturasi sebesar 0.1842 – 1.6275 gr.km/cc.s. Kecepatan gelombang S – seismik pada batuan kering bekerja paling baik dibandingkan gelombang P – seismik walaupun pada teorinya gelombang P – seismik memiliki cepat rambat paling cepat. Namun, gelombang S – seismik tidak dapat bekerja pada batuan yang tersubstitusi fluida karena ketidakmampuan melalui medium cair. Perbedaan nilai v_p pada setiap lapisan dapat diidentifikasi dengan mencari impedansi akustik pada setiap lapisan dan dilakukan penelitian lanjutan agar dapat diklasifikasi kandungan lapisan secara akurat.

Bibliography

- Adam, Ludmila, Batzle, Michael, & Brevik, Ivar. (2005). Gassmann's fluid substitution paradox on carbonates: seismic and ultrasonic frequencies. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2005* (pp. 1521–1524). Society of Exploration Geophysicists.
- Hutabarat, R. G. (2009). Integrasi Inversi Seismik Dengan Atribut Amplitudo Seismik Untuk Memetakan Distribusi Reservoir Pada Lapangan Blackfoot. *Makara, Sains*, 7(3).
- James, G. A., & Wynd, J. G. (1965). Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG Bulletin*, 49(12), 2182–2245.
- Keelan, Dare. (1982). *A Course in Special Core Analysis*. Core Laboratories.
- Misaghi, Ali, Negahban, Sajjad, Landrø, Martin, & Javaherian, Abdolrahim. (2010). A comparison of rock physics models for fluid substitution in carbonate rocks. *Exploration Geophysics*, 41(2), 146–154.
- Mojo, Khairul Anam Triat, Efendi, Rustan, & Abdullah, Abdullah. (2018). Estimasi Porositas Batuan Menggunakan Gelombang Seismik Refraksi di Desa Lengkeka Kecamatan Lore Barat Kabupaten Poso. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 7(1).
- Posgay, K., Bodoky, T., Hegedüs, E., Kovácsvölgyi, S., Lenkey, L., Szafián, P., Takács, E., Tímár, Z. a, & Varga, G. (1995). Asthenospheric structure beneath a Neogene basin in southeast Hungary. *Tectonophysics*, 252(1–4), 467–484.
- Shekhah, Osama, Wang, Hui, Paradinas, Markos, Ocal, Carmen, Schüpbach, Björn, Terfort, Andreas, Zacher, Denise, Fischer, Roland A., & Wöll, Christof. (2009). Controlling interpenetration in metal–organic frameworks by liquid-phase epitaxy. *Nature Materials*, 8(6), 481–484.
- Sismanto, Sismanto. (2012). *Pengelolaan Perpustakaan Di Sekolah Standar Nasional SDN Gondowangi Sawangan Magelang*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Surjono, Sugeng Sapto, Santika, Anggit Anggara, & Asy'ari, Muhamad Rizki. (2018). Provenance of Mesozoic Meluhu sandstone and its implication to petroleum system in Meluhu area, southeast arm of Sulawesi. *PROCEEDING OF 2ND ISPG RESEARCH FORUM "APPLIED BASIC CONCEPT AND PIT FALL UNDERSTANDING,"* 1–20. IKATAN AHLI GEOLOGI INDONESIA (IAGI).
- Vincent, Benoit, van Buchem, Frans S. P., Bulot, Luc G., Jalali, Mahmoud, Swennen, Rudy, Hosseini, A. S., & Baghbani, Darius. (2015). Depositional sequences, diagenesis and structural control of the Albian to Turonian carbonate platform systems in coastal Fars (SW Iran). *Marine and Petroleum Geology*, 63, 46–67.

Pemodelan Hasil Analisis Sederhana Nilai Impedansi Akustik P – $Wave$ Pada Formasi Sarvak Menggunakan Matlab

Wang, Zhijing, Wang, Hui, & Cates, Michael E. (2001). Effective elastic properties of solid clays. *Geophysics*, 66(2), 428–440.