

ANALISIS MODEL KECEPATAN GELOMBANG-P PADA COAL SEAM GAS, STUDI KASUS CEKUNGAN SUMATERA SELATAN, INDONESIA

ANALYSIS OF P-WAVE VELOCITY MODEL IN COAL SEAM GAS, CASE STUDY IN SOUTH SUMATERA BASIN, INDONESIA

Harnanti Yogaputri Hutami^{1*}, Fitriyani², Tiara Larasati Priniarti³, Handoyo⁴

¹²³Program Studi T. Geofisika, Jurusan Teknik Manufaktur dan Mineral Kebumihan, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

⁴Facultat de ciencies de la Terra, Universitat de Barcelona, Spain

Received: 2020, 4th June

Accepted: 2020, 21st June

Keyword:

Rock physics;

Coal seam;

Gas saturated;

P-wave velocity.

Correspondent Email:

harnanti.hutami@tg.itera.ac.id

How to cite this article:

Hutami, H.Y., Fitriyani, Priniarti, T.L., & Handoyo (2020). Analisis Model Kecepatan Gelombang-P Pada Coal Seam Gas, Studi Kasus Cekungan Sumatera Selatan, Indonesia. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 6(2), 113-120.

© 2020 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi).
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Pemodelan fisika batuan pada studi kasus batubara (*coal seam*) tersaturasi gas merupakan salah satu upaya efektif dalam menginvestigasi potensi sebaran *Coal-Seam Gas* di Indonesia, sekaligus menjadi tantangan bagi peneliti akibat karakteristik kandungan gas terperangkap di dalam pori batuan yang relatif kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi bagaimana pengaruh kandungan gas yang berada di dalam pori *coal seam* terhadap respon parameter elastik batuan, yaitu kecepatan gelombang-P. Model fisis batuan secara sederhana dibuat menggunakan pendekatan Teori *Voigt-Reuss-Hill Average* untuk memperoleh modulus elastik matriks *coal seam* yang tersusun atas beberapa variasi mineral. Selanjutnya, modulus elastik batuan dalam kondisi kering didekati menggunakan persamaan sederhana oleh Pride dengan mengikutsertakan faktor konsolidasi batuan *coal seam* dan nilai porositas. Nilai modulus elastik batuan ketika tersaturasi oleh gas kemudian dihitung menggunakan persamaan Biot-Gassmann dengan menggunakan asumsi bahwa kandungan gas mengisi pori seluruhnya sehingga memberikan kondisi isotropi batuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan gas pada pori *coal seam* memberikan korelasi negatif terhadap respon densitas dan kecepatan gelombang-P. Model kecepatan gelombang-P batuan tersaturasi gas yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai indikator awal dalam mengidentifikasi potensi *coal seam gas*.

Abstract. *The rock physics model is one effective yet challenging way to investigate the coal-seam gas potential in Indonesia. However, because of the complex conditions of the Coal-Seam Gas Reservoirs, it is difficult to establish models. Despite the scarce modeling, this study aims to estimate the relation of gas-saturated within pores of coal seam to the elastic properties of rock, which is P-wave velocity. First, the coal seam minerals are applied to quantify matrix moduli using the Voigt-Reuss-Hill Average method. Pride's simple equation is used to estimate the elastic properties of the coal seam at dry condition (zero gas saturation). Finally, Biot-Gassmann's theory is applied to determine the elastic properties of coal seam with fully gas saturated. As the result, the proposed model showed that there is a significant negative correlation between*

gas content with both density and P-wave velocity of the coal seam. Finally, this P-wave velocity model of gas-saturated coal seams should be properly useful as the quick look for identifying coal seam gas potentials.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, seiring makin meningkatnya kebutuhan akan sumber daya energi, eksplorasi pengembangan hidrokarbon non-konvensional mulai banyak dilakukan. Menariknya adalah Indonesia kaya akan berbagai potensi sumber daya energi non-konvensional namun masih minim dalam pemanfaatannya. *Coal Seam Gas* (CSG) atau umumnya lebih dikenal sebagai *Coal-Bed Methane* di Indonesia adalah salah satu sumber energi gas alam non-konvensional.

Potensi gas Indonesia mencapai angka sebesar 453 TCF yang tersebar di 11 cekungan batubara dan migas. Salah satunya dimiliki oleh Cekungan Sumatera Selatan sebesar 180 TCF (Badan Litbang ESDM).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat potensi ini berdasarkan analisis karakterisasi reservoir batubara. Dirgantara dkk. (2011) melakukan pengukuran tujuh sampel batubara kering dan mengaplikasikan pengukuran kecepatan gelombang seismik pada sampel tersebut. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan gelombang kompresional dan gelombang *shear* meningkat dan sebanding dengan peningkatan level kematangan batubara. Chen dkk. (2014) melakukan studi analisis respon AVO dan menyatakan bahwa densitas batuan adalah parameter yang cukup sensitif untuk mengidentifikasi CBM dan elastisitas *shear* merupakan indikator penentuan permeabilitas lapisan batubara. Huang dkk. (2017) menggunakan metode fisika batuan untuk identifikasi reservoir CBM dan mengemukakan bahwa kecepatan gelombang-P dan densitas lapisan batubara cenderung menurun seiring dengan meningkatnya

kandungan gas. Huang dkk. menggunakan metode *Differential Equivalent Medium* (DEM) untuk menghitung modulus batuan kering.

Pada penelitian ini penulis mencoba untuk menerapkan model fisika batuan pada studi kasus Cekungan Sumatera Selatan, dengan tujuan akhir penelitian yaitu mengetahui pengaruh perubahan saturasi gas terhadap kecepatan gelombang-P pada lapisan target *coal seam*.

Berdasarkan teori, terindikasi bahwa saturasi gas di dalam pori *coal seam* memiliki korelasi negatif dengan nilai densitas batuan dan kecepatan gelombang-P. Artinya secara fisis, *coal-seam gas* dicirikan dengan nilai densitas dan kecepatan gelombang-P yang rendah dibandingkan dengan lapisan batuan disekitarnya. Sehingga kontras kecepatan gelombang-P antar lapisan batuan merupakan parameter penting untuk indikasi awal lapisan target *coal seam*.

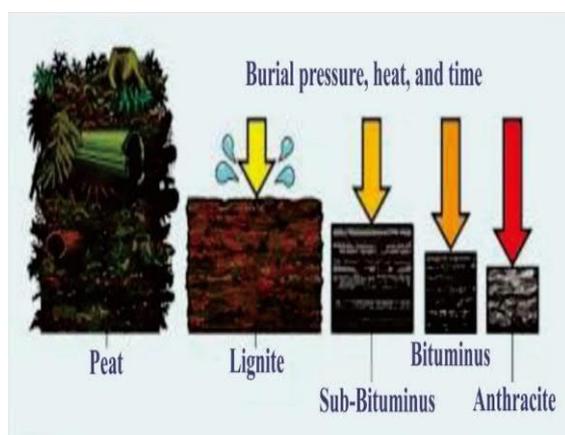
Pemodelan fisika batuan untuk *coal seam* tersaturasi gas dilakukan menggunakan beberapa pendekatan yaitu modulus matriks *coal seam* yang tersusun atas beberapa fraksi mineral dengan menggunakan teori *Voigt-Reuss-Hill Average* (VRH) (Mavko dkk., 2009); Persamaan Pride (Pride, 2005) untuk mengestimasi nilai parameter elastik batuan dalam kondisi pori yang tidak tersaturasi (kering); dan Persamaan Biot-Gassmann (Wang dkk., 2009) dimanfaatkan untuk mengestimasi perubahan modulus elastik *coal seam* ketika disaturasi gas seluruhnya. Selanjutnya perubahan parameter elastik *coal seam* yang tersaturasi gas dianalisis dan hasilnya dibandingkan dengan kondisi *in-situ* yang diasumsikan belum tersaturasi (kering).

Model kecepatan gelombang-P sederhana Raymer-Hunt-Gardner (RHG) digunakan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang-P pada kondisi *coal seam in-situ* (belum tersaturasi gas) (Raymer dkk., 1980).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai *quick look* dalam mendeteksi keberadaan potensi *coal-seam gas* di Cekungan Sumatera Selatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil yang terbentuk dari proses pengendapan sisa tumbuhan dan hewan pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi selama jutaan tahun (Cook, 1982). Secara umum, tingkatan batubara dari level terendah hingga tertinggi dibedakan berdasarkan kandungan air dan unsur karbon-hidrogen-oksigen, yaitu Gambut, Lignit, Sub-Bituminus, Bituminus, dan Antrasit, seperti terlihat pada Gambar 1. (Sukandarrumidi, 2014). Dari proses pengendapan tersebut, organik material akan membentuk gas metan yang kemudian terakumulasi di dalam pori *coal seam*. Gas metan yang terperangkap di dalam *coal seam* dikenal sebagai *Coal Seam Gas* (CSG) atau *Coal Bed Methane* (CBM).



Gambar 1. Klasifikasi *coal seam* berdasarkan tekanan, temperatur, dan waktu pengendapan (Sukandarrumidi, 2014).

Kandungan gas metan pada pori *coal seam* mempengaruhi respon fisis batuan sehingga

distribusinya dapat diestimasi dengan baik melalui analisis model fisis batuan ditinjau dari kandungan mineral penyusun *coal seam* dan kandungan gas metan tersebut dibandingkan dengan tipe batuan dan fluida lainnya.

Gas yang terakumulasi di dalam lapisan *coal seam* bergantung kualitas yang dideskripsikan melalui respon densitas dan porositas setiap lapisan *coal seam* yang diamati. Nilai log porositas-densitas dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) untuk seluruh kedalaman sumur penelitian.

$$\phi = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m - \rho_f} \quad (1)$$

Dimana ρ_m adalah densitas matriks, ρ_b adalah densitas bulk, dan ρ_f adalah densitas fluida.

Kemudian porositas yang diperoleh menjadi nilai masukan untuk mengestimasi kecepatan gelombang-P (V_p) pada kondisi kering. Nilai V_p dihitung menggunakan model RHG, yang selanjutnya disebut V_p *in-situ* (Persamaan 2)

$$V_p = (1 - \phi)^2 V_m + \phi V_f \quad (2)$$

Dimana V_f adalah kecepatan gelombang di dalam fluida, V_m adalah kecepatan gelombang pada matriks batuan, dan ϕ adalah porositas batuan. Pada kondisi pori kering, kecepatan gelombang V_f akan sama dengan nol.

Modulus matriks *coal seam* yang terbentuk dari beberapa variasi fraksi mineral bitumin, sub-bituminus, dan antrasit diestimasi dengan menggunakan *Voigt-Reuss-Hill Average* seperti ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$M_H = \frac{M_V + M_R}{2} \quad (3)$$

dengan nilai M_v dan M_R adalah masing-masing persamaan $M_v = \sum_{i=1}^N f_i M_i$ dan $M_R = \frac{M_i}{f_i}$ yang menunjukkan nilai fraksi masing-masing mineral beserta dengan nilai modulus mineral.

Teori *Voigt-Reuss-Hill Average* ini dapat dipakai dalam menentukan nilai modulus elastik batuan akibat variasi mineral penyusun dengan baik dalam kondisi isotropi (Mavko dkk., 2009).

Persamaan Pride (Pride, 2005) memodelkan modulus batuan dalam kondisi kering (K_{dry} dan μ_{dry}) dengan menggunakan persamaan sederhana yang mengikutsertakan modulus mineral penyusun batuan *coal seam* (K_{ma} dan μ_{ma}), porositas (ϕ), dan faktor konsolidasi α (Persamaan 4-6).

$$K_{dry} = \frac{K_{ma} (1 - \phi)}{(1 + \alpha\phi)} \quad (4)$$

$$\mu_{dry} = \frac{\mu_{ma} (1 - \phi)}{(1 + 1.5\alpha\phi)} \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{1 + 2\alpha}{1 + \alpha} \quad (6)$$

Pada Persamaan 6, nilai γ merupakan gambaran perbandingan rasio V_p/V_s pada batuan. Secara teori, nilai rasio V_p/V_s pada *coal seam* akan lebih tinggi dibandingkan dengan batupasir terkonsolidasi dengan kondisi sama-sama kering.

Respon kecepatan gelombang-P pada *coal seam* cenderung lebih rendah sehingga nilai γ akan lebih tinggi (sekitar 1,5 – 2). Nilai ini yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan modulus elastik batuan kering.

Persamaan Biot-Gassmann umumnya digunakan untuk mempelajari efek perubahan kandungan gas di dalam pori batuan terhadap perilaku parameter elastik batuan (Mavko dkk., 2009). Selanjutnya, persamaan modulus elastik batuan tersaturasi gas (K_{sat} dan μ_{sat}) ditunjukkan pada persamaan 7.

$$K_{sat} = K_{dry} + \frac{\left(1 - \frac{K_{dry}}{K_{ma}}\right)^2}{\frac{\phi}{K_f} + \frac{1 - \phi}{K_{ma}} - \frac{K_{dry}}{K_{ma}^2}} \quad (7)$$

Teori Gassmann memprediksi bahwa nilai modulus *shear* tidak bergantung pada fluida yang mengisi pori. Sehingga diasumsikan bahwa modulus *shear* kering sama dengan modulus *shear* batuan tersaturasi fluida.

$$\mu_{sat} = \mu_{dry} \quad (8)$$

3. METODE PENELITIAN

Pendekatan fisika batuan untuk mengestimasi bagaimana respon modulus elastik *coal seam* akibat tersaturasi oleh gas memiliki kendala yang cukup menantang. Pertama, ketersediaan data log yang sangat terbatas sehingga perlu menghitung properti fisik batuan sebagai data pendukung. Kedua, adalah informasi mineral penyusun *coal seam* yang terbatas sehingga asumsi mineral perlu dilakukan. Ketiga, karakteristik pori *coal seam* berkaitan dengan penyerapan gas masih belum diketahui dengan detil.

Berdasarkan tinjauan batasan masalah tersebut, beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mencapai tujuan adalah sebagai berikut:

3.1. Pengolahan Data Log dan Analisis Petrofisika

Pemisahan target lapisan *coal seam* pada sumur X dilakukan dengan menggunakan informasi log yang tersedia, yaitu log densitas dan log Gamma Ray.

Langkah selanjutnya adalah dengan mengestimasi beberapa parameter fisik yang tidak tersedia pada sumur, yaitu informasi porositas dan informasi kecepatan gelombang-P. Kedua properti tersebut masing-masing dihitung dengan menggunakan pendekatan porositas-densitas menggunakan Persamaan 1 dan persamaan empiris Raymer pada Persamaan 2 untuk menghitung nilai V_p *in-situ* di sumur. Nilai kecepatan gelombang-P ini dibutuhkan sebagai informasi awal untuk pemodelan fisika batuan dengan kondisi sumur awal adalah kering (tidak tersaturasi gas).

3.2. Pemodelan Fisika Batuan untuk Coal-Seam Gas

Tujuan utama dari tahapan pemodelan fisika batuan adalah membuat model *coal seam* tersaturasi gas yang akan dilakukan untuk menganalisis bagaimana respon V_p ketika awalnya tanpa saturasi gas (kering) hingga tersaturasi gas sepenuhnya, $S_g = 1$.

Proses pemodelan fisika batuan tersebut dilakukan dalam tiga tahapan utama, yaitu sebagai berikut:

1. Menghitung Modulus Matriks dan Modulus Elastik *coal seam* dalam kondisi kering dengan Teori Voigt-Reuss-Hill Averaging dan Persamaan Pride.
2. Menghitung Modulus Elastik dan Kecepatan Gelombang-P *coal seam* Tersaturasi Gas.

Model awal *coal seam* dibuat dengan komposisi yang tersusun atas beberapa mineral antrasit, bituminus, dan sub-bituminus dengan masing-masing fraksi (%) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Kandungan mineral penyusun matriks ini menghasilkan besaran nilai modulus matriks *coal seam* (K_{ma} dan μ_{ma}) yang menjadi parameter masukkan dalam mengestimasi modulus batuan berpori dalam kondisi kering dan tersaturasi gas seluruhnya pada model batuan.

Tabel 1. Persentase mineral penyusun matriks *coal seam* per kedalaman

Lapisan Seam	Antrasit (%)	Bituminus (%)	Sub-Bituminus (%)
Seam B	55	25	20
Seam C	60	30	10

Model *coal seam* berpori dalam kondisi kering dengan persamaan Pride (Persamaan 4-6) mengikutsertakan faktor konsolidasi setiap lapisan *coal seam* yang diamati.

Tahapan berikutnya yang dilakukan adalah memberikan saturasi gas pada pori *coal seam* dengan menggunakan pendekatan substitusi fluida Biot-Gassmann.

Modulus elastik batuan tersaturasi gas dihitung menggunakan Persamaan 7. Parameter ini menjadi nilai masukan untuk menghitung nilai kecepatan gelombang-P (V_p) tersaturasi gas.

Hasil yang diperoleh dilakukan analisis untuk membandingkan parameter elastik batuan, yaitu nilai densitas dan kecepatan gelombang-P batuan, terhadap kandungan gas di dalam pori *coal seam*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tahapan pengolahan data log dan pemodelan fisika batuan yang sudah dilakukan, maka analisis dan hasil penelitian dapat dipaparkan sebagai berikut:

4.1. Pengolahan Data Log dan Analisis Petrofisika

4.1.1. Pemisahan target lapisan *coal seam*

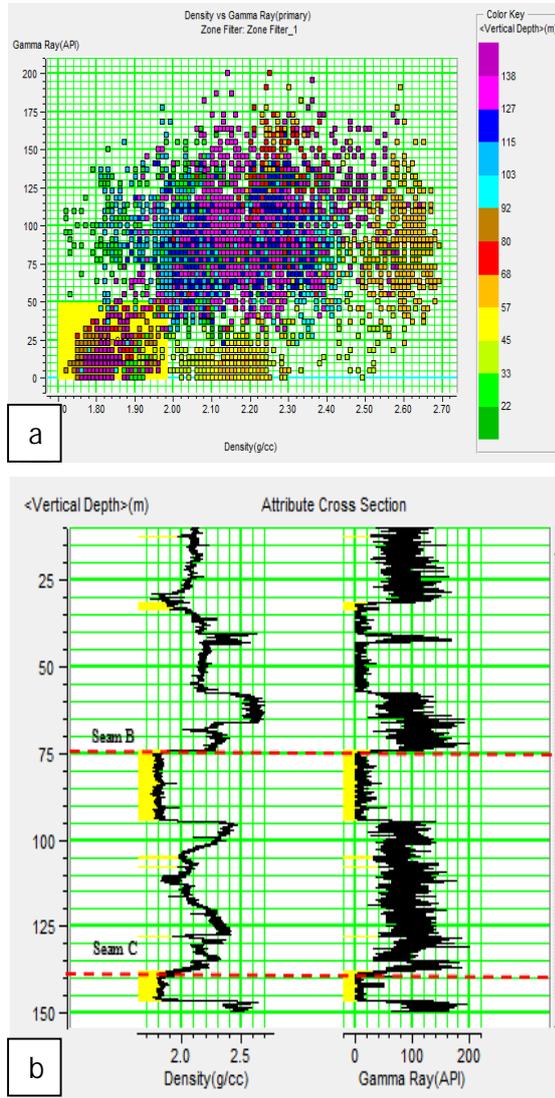
Coal seam pada sumur penelitian dipisahkan melalui bacaan nilai Densitas Bulk (g/cc) dan Gamma ray (API). Secara teori, *coal seam* dapat dideteksi dengan nilai densitas dan Gamma Ray yang sangat rendah. Lapisan *coal seam* per kedalaman dipisahkan berdasarkan nilai Gamma Ray (< 50 GAPI) dan Densitas Bulk (< 2,0 g/cc).

Pemisahan target pada sumur X menunjukkan beberapa lapisan *coal seam* yang diindikasikan dapat menjadi target eksplorasi dan dapat dimodelkan dalam penelitian ini. Lapisan *coal seam* B terletak pada kedalaman 74,72 m – 94,82 m dengan nilai densitas 1,7 g/cc – 1,9 g/cc dan lapisan *coal seam* C pada kedalaman 138,72 m – 146,3 m dengan nilai densitas berkisar diantara 1,75 g/cc – 2,0 g/cc, seperti ditunjukkan Gambar 2.

4.1.2. Estimasi nilai parameter fisis batuan

Perbedaan kedalaman dan nilai densitas lapisan *coal seam* B dan C tentu berpengaruh

terhadap kandungan mineral penyusun ditinjau dari persentase antrasit, bituminus, dan sub-bituminus, seperti pada Tabel 1.



Gambar 2. (a) Pemisahan lapisan *coal seam* ditinjau dari bacaan log Gamma Ray dan log densitas di sumur penelitian. (b) Posisi kedalaman setiap lapisan sesuai dengan hasil pemisahan.

Fraksi mineral yang diperoleh untuk setiap lapisan *coal seam* B dan C dikorelasikan dengan bacaan densitas pada sumur. Lapisan *coal seam* B dengan nilai densitas relatif lebih rendah dibandingkan dengan *coal seam* C memiliki persentase fraksi mineral berat antrasit yang lebih sedikit diikuti dengan Bituminus dan Sub-bituminus, dan sebaliknya. Persentase mineral dengan unsur yang lebih

berat ini berpengaruh dalam pembentukan porositas *coal seam*. Lapisan *coal seam* dengan kandungan antrasit tinggi cenderung memiliki nilai porositas rendah.

Dalam hal ini, lapisan *coal seam* C dengan kandungan antrasit sedikit lebih banyak dibandingkan persentase mineral antrasit lapisan *coal seam* B dengan nilai porositas yang relatif sama, yaitu 5%. Porositas yang terbentuk ini akan mempengaruhi respon kecepatan gelombang-P pada lapisan *coal seam*.

4.2. Pemodelan Fisika Batuan untuk *Coal-Seam Gas*

Asumsi awal yang digunakan dalam pemodelan fisika batuan adalah *coal seam* dalam kondisi kering.

[1] Perhitungan Modulus Matriks *Coal seam* dan Modulus Elastik dalam kondisi kering (*dry rock frame*) dengan Teori Voigt-Reuss-Hill Averaging dan Persamaan Pride.

Berdasarkan Tabel 1, kandungan mineral penyusun matriks tergambar melalui nilai modulus matriks *coal seam* (K_{ma} dan μ_{ma}) yang menjadi parameter masukan untuk mengestimasi modulus batuan berpori baik dalam kondisi kering maupun tersaturasi gas.

Persamaan empiris Pride memanfaatkan informasi kandungan mineral pada batuan dan representasi nilai porositas serta derajat konsolidasi batuan yang dinyatakan dalam nilai faktor konsolidasi α . Secara teknis, makin terkonsolidasi suatu lapisan *coal seam*, maka akan menunjukkan nilai faktor konsolidasi yang mengecil.

Penelitian ini mengasumsikan bahwa konsolidasi batuan *coal seam* dipengaruhi oleh mineral penyusun batuan *coal seam* sehingga nilai α diperoleh dari perbandingan nilai kedua modulus matriks batuan μ_{ma}/K_{ma} .

Selain itu, faktor derajat sementasi /konsolidasi batuan (α) yang terjadi selama proses pengendapan juga mempengaruhi nilai porositas *coal seam*. Nilai α tinggi menunjukkan batuan dengan konsolidasi yang

buruk, dan nilai α rendah dikatakan batuan semakin terkonsolidasi.

Peneliti mengasumsikan faktor konsolidasi *coal seam* berbanding terbalik dengan persentase mineral. Dengan tinjauan tersebut, persentase mineral berat (antrasit) lebih banyak menghasilkan bacaan densitas yang lebih besar, porositas yang rendah, dan faktor konsolidasi yang kecil pula.

Dalam hal ini, lapisan *coal seam* B dengan kandungan antrasit lebih sedikit cenderung memiliki faktor konsolidasi lebih besar dan nilai densitas lebih rendah dibandingkan seam C dengan nilai porositas seam B dan C yang relatif sama, seperti terlihat pada Tabel 2. Nilai α untuk seam B adalah 3 dengan kandungan mineral antrasit 55%, sedangkan nilai α seam C yaitu 1,5 – 2,5 dengan kandungan mineral berat antrasit 60%.

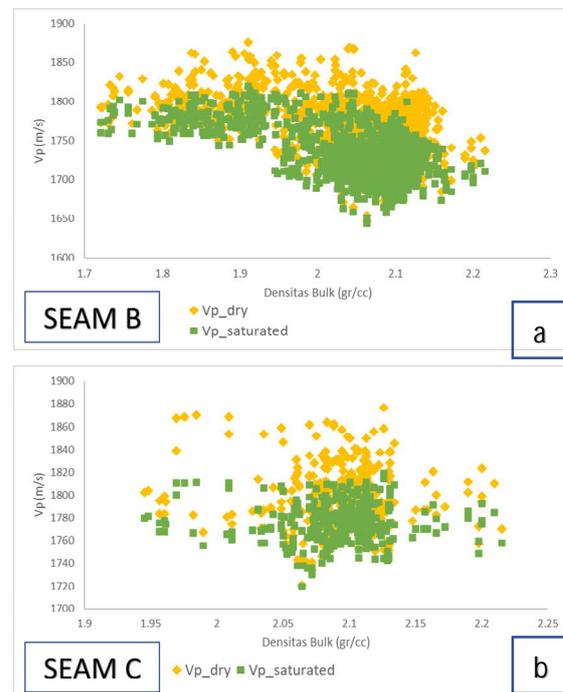
Tabel 2. Informasi parameter pemodelan fisis *coal seam* dalam kondisi kering dan tersaturasi gas

Lapisan Seam	Porositas	Faktor konsolidasi α
Seam B	$\pm 5 \%$	3
Seam C	$\pm 5 \%$	1,5-2,5

[2] Model batuan dan analisis model kecepatan gelombang-P pada *coal seam* tersaturasi gas (*coal-seam gas saturated*)

Secara teori, karakteristik *coal seam* tersaturasi gas ditunjukkan dengan nilai densitas dan kecepatan gelombang-P batuan berbanding lurus, yaitu nilai densitas rendah maka akan terbaca nilai Vp yang rendah. Konsep ini yang diamati dalam penelitian ini secara keseluruhan.

Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan kecepatan gelombang-P *in-situ* pada kondisi kering ($V_{p_{dry}}$) dan kecepatan gelombang-P saat tersaturasi gas seluruhnya ($V_{p_{sat}}$) untuk Seam B dan Seam C. Terlihat kontras $V_{p_{sat}}$ yang turun secara signifikan dibandingkan $V_{p_{dry}}$.



Gambar 3. Perbandingan nilai kecepatan gelombang-P yang dimodelkan saat pori *coal seam* dalam kondisi kering ($V_{p_{dry}}$) dan saat sudah disaturasi oleh gas seluruhnya ($V_{p_{sat}}$)

Hasil evaluasi pada saat batuan hanya tersusun atas mineral matriks saja (batuan kering) berkorelasi dengan densitas yang tinggi dan memberikan nilai kecepatan gelombang-P yang tinggi. Artinya gelombang-P merambat hanya dipengaruhi oleh variasi mineral yang menyusun *coal seam*. Nilai tersebut tentu saja akan mengalami penurunan ketika ditinjau pada batuan yang berpori.

Ketika pori *coal seam* mulai tersaturasi gas, terjadi penurunan nilai kecepatan gelombang-P. Kandungan gas yang makin tinggi, akan menurunkan nilai kecepatan gelombang lebih besar. Dalam penelitian ini jumlah kandungan gas digambarkan dalam nilai densitas, dimana densitas rendah artinya kandungan gas makin tinggi. Dengan demikian, kandungan gas seluruhnya didefinisikan sebagai penurunan densitas dan penurunan kecepatan gelombang-P. Pernyataan ini sesuai dengan grafik Gambar 3(a) dan (b) untuk lapisan *coal seam* B dan C.

Hasil penelitian ini sesuai dengan pernyataan X. P. Chen dkk. (2013) bahwa

persentase kandungan gas memiliki korelasi negative yang cukup sensitif terhadap nilai densitas dan kecepatan gelombang-P.

Besarnya persentase penurunan kecepatan gelombang-P tersaturasi gas untuk Seam B dan Seam C tidak jauh berbeda, mengingat persentase porositas *coal seam* B dan C berkisar 5%. Model kecepatan gelombang-P saat tersaturasi gas, $S_g = 1$, untuk seam B dan seam C menunjukkan penurunan sebesar 2-5%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan pengolahan data dan analisis hasil yang diperoleh, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Lapisan *coal seam* B dan C pada sumur X dapat dipisahkan dengan cukup baik menggunakan log densitas dan Log Gamma Ray.
2. Model kecepatan untuk masing-masing lapisan coal seam B dan C menunjukkan bahwa kecepatan gelombang-P saat tersaturasi gas mengalami penurunan secara signifikan (sekitar 2-5%). Sehingga model kecepatan gelombang-P pada penelitian ini dapat digunakan sebagai indikator awal dalam mengidentifikasi potensi *coal seam gas*, khususnya di Cekungan Sumatera Selatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, baik berupa arahan, diskusi, dan dukungan positif dan bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

Chen, X.-P., Huo, Q., Lin, J., Wang, Y., Sun, F., Li, W., & Li, G. (2014). Theory of CBM AVO: I. Characteristics of anomaly and why it is so. *GEOPHYSICS*, 79(2), D55–D65. <https://doi.org/10.1190/geo2013-0195.1>

- Chen, X. P., Huo, Q. M., Lin, J. D., Hu, C. Y., Wang, Y., Sun, F. J., Zhao, Q. B., Li, W. Z., & Li, G. Z. (2013). The relation between CBM content and the elastic parameters of CBM reservoirs: Reasoning and initial probing. *Chinese Journal of Geophysics*, 56(8), 2837–2848. <https://doi.org/10.6038/cjg20130832>
- Cook, A. C. (1982). *The origin and petrology of organic matter in coals, oil shales and petroleum source-rocks*. Geology Department, The University of Wollongong.
- Dirgantara, F., Batzle, M. L., & Curtis, J. B. (2011). Maturity characterization and ultrasonic velocities of coals. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. <https://doi.org/10.1190/1.3627668>
- Huang, Y., Wei, M., Malekian, R., & Zheng, X. (2017). CBM Reservoir Rock Physics Model and Its Response Characteristic Study. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2687882>
- Mavko, G., Mukerji, T., & Dvorkin, J. (2009). The Rock Physics Handbook. In *The Rock Physics Handbook*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626753>
- Pride, S. R. (2005). Relationships between Seismic and Hydrological Properties. In *Hydrogeophysics* (hal. 253–290). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3102-5_9
- Raymer, L. L., Hunt, E. R., & Gardner, J. S. (1980). An improved sonic transit time-to-porosity transform. *SPWLA 21st Annual Logging Symposium 1980*.
- Sukandarrumidi. (2014). *Batubara dan Gambut*. Gajah Mada University Press.
- Wang, L. P., Zhang, G. H., & Wang, X. Q. (2009). Analysis of Reservoir Characteristics and Affection to Desorption of Coalbed Methane. *Coal Technol*, 28(1).