

Catatan Editorial *Seismic Quantitative Interpretation (QI)*

Adi Widiantoro

Chief Editor

email: adi.widiantoro@pertamina.com

29 Desember 2021

Jurnal HAGI memulai penerbitan edisi khusus dengan topik tematik yang mengandung riset akademik dan aplikasi di industri, sehingga penyelesaian masalah fundamental mengenai topik yang dimaksud akan lebih terarah. Edisi khusus perdana dimulai dengan memuat tema interpretasi kuantitatif seismik atau *seismic quantitative interpretation (QI)* yang berkembang pesat di industri minyak dan gas (migas) dalam beberapa tahun belakangan ini, sebagai alurkerja interpretasi data seismik yang menjadi data primer dalam proses eksplorasi dan produksi migas. Interpretasi kuantitatif menjadi kunci komunikasi antar disiplin, sebagai alat integrasi data dengan dimensi berbeda, serta diperlukan dalam proses memahami resiko dan ketidakpastian untuk menemukan cadangan migas yang semakin sulit.

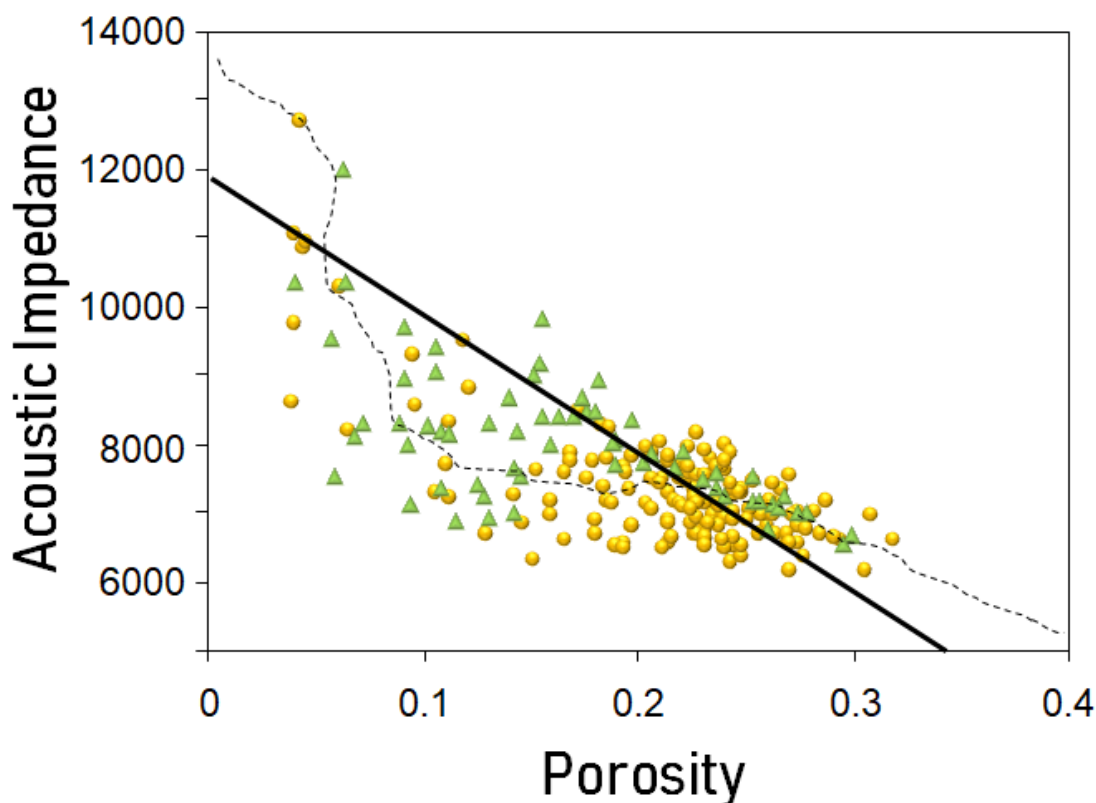
Data seismik sebagai data primer industri migas memberikan informasi sifat elastik batuan yang bervariasi terhadap kondisi geologi yang dialami batuan di bawah permukaan. Data seismik ini mempunyai banyak limitasi seperti juga data dan interpretasi yang lain, limitasi data seismik termasuk masalah bising sinyal, kompleksitas *overburden*, dan yang sering diangkat sebagai argumen interpretasi antar disiplin adalah masalah resolusi dan ambiguitasnya. Interpretasi anomali amplitudo seismik melalui peta ekstraksi amplitudo menyisakan banyak tumpukan informasi saturasi, porositas, kandungan lempung, tekanan reservoir, interaksi ketebalan dan fitur stratigrafi lainnya. Karena memang respon kontras amplitudo yang ditawarkan oleh informasi seismik merupakan kombinasi interaksi lapisan penyusunnya, sebagai respon variasi lokal geologi atas komposisi dan geometri serta perubahan komponen solid dan komponen fluida batuan. Maka alur kerja untuk memahami respon amplitudo karena perubahan variasi sifat elastik batuan dan menghubungkannya secara sistematis dengan variasi sifat properti reservoir untuk pemilihan lokasi sumur pemboran adalah definisi inti dari seismik QI

Perbedaan atas apa yang disebut alurkerja QI dengan apa yang telah dilakukan selama ini adalah urutan sistematis untuk melakukan interpretasi amplitudo seismik. Alurkerja individu seperti variasi amplitudo terhadap jarak atau sudut datang (AVO) juga inversi seismik misalnya sudah terlebih dahulu berkembang dan terbukti sukses sebagai proses identifikasi migas bawah permukaan. Juga terdapat analisis petrofisika yang berhubungan dengan properti elastik atau disebut *seismic petrophysics* telah berkembang sebelumnya. Perbedaan terbesar dari proses-proses sebelumnya adalah formulasi alurkerja sistematis QI yang menggabungkan pondasi fisika batuan dan penalaran sifat fisik batuan dalam melakukan interpretasi amplitudo sebagai bagian tidak ter-

pisah dari proses analisis AVO, inversi dan estimasi properti secara iteratif.

Penalaran hubungan fisika ini melangkah lebih dalam dari hanya melakukan *cross-plot* antara dua properti misalnya seperti pada Gambar 1. Hubungan modulus, impedansi atau kecepatan pada sumbu-Y dengan properti reservoir seperti porositas pada sumbu-X dalam lingkup reservoir klasik sangat sering digambarkan melalui hubungan linier atau saat ini dengan *machine learning* dapat dilakukan pencarian hubungan non liniernya. Seismik QI memberikan kerangka berpikir bahwa sebenarnya linearisasi yang sering dilakukan menjelaskan kondisi sifat kegetasan batuan yang lebih tinggi (*stiffer*) akibat proses kompaksi mekanis, interaksi sementara antar matriks dan tekanan batuan yang semakin bertambah akibat kedalaman atau bertambahnya *overburden*. Juga memberikan kerangka penyebaran poin data mewakili tipikal batuan sedimen lain yang lebih lunak (*softer*) yang dipengaruhi oleh misalnya pengotoran mineral lempung di dalam pori atau buruknya proses tersusunnya matriks akibat sedimentasi yang berlanjut dan kombinasinya. Sehingga penurunan hubungan matematis dalam alurkerja QI secara akurat tidak menjadi prioritas. Hal terpenting dalam melakukan analisis fisika batuan bukan penggunaan *machine learning* untuk memberikan hubungan akurat tetapi memahami mengapa data tersebar dalam domain korelasi antara dua variabel, fenomena geologi apa yang menyebabkan data menyebar dari tren nya, bagaimana melakukan interpretasi atas penyebaran data, model apa yang berlaku dan apa asumsinya. Semua ini tercakup dalam seismik QI dengan pondasi fisika batuan untuk meletakkan kerangka interpretasi sedimentasi berdasarkan variasi geometri pori, bentuk pori, komposisi batuan, percampuran matriks dan fluida, untuk melakukan prediksi properti reservoir.

Terdapat minimal tiga kerangka teori alurkerja seismik QI. Pertama adalah kerangka teori perubahan volume akibat perubahan kompresibilitas. Karena properti kompresibilitas ini bervariasi terhadap jumlah pori, susunan pori, komposisi mineral, interaksi matriks, komposisi fluida pengisi pori dan juga tekanan intrinsik yang tersimpan di dalam pori karena interaksi mekanik dan proses kimiawi, maka konsep awal ini akan memberikan pondasi pemahaman variasi modulus dan kecepatan gelombang seismik sebagai pembentuk amplitudo. Kedua, kerangka teori elastisitas memberikan konsep variasi efek deformasi akibat variasi perbedaan tekanan yang dilewatkan terhadap unit batuan, dan digabungkan dengan teori Biot-Gassmann memberikan landasan terjadinya bertambahnya kegetasan batuan karena perubahan variasi tekanan. Ketiga, kerangka teori penjalaran gelombang mem-



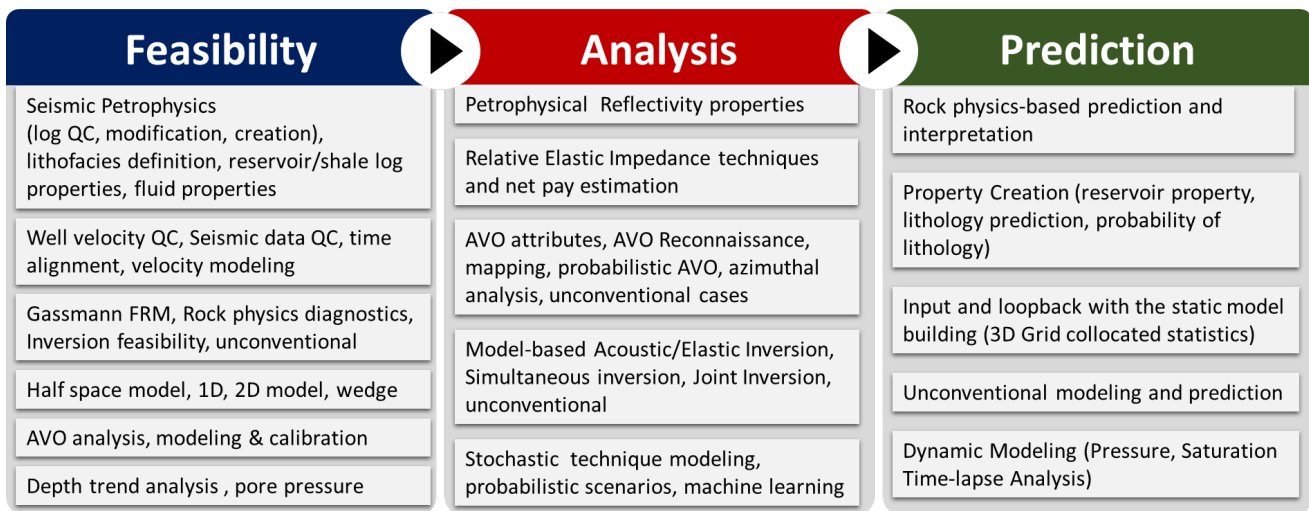
Gambar 1. Korelasi Impedansi dan porositas yang digunakan untuk melakukan interpretasi hasil inversi menjadi properti reservoir. Penyebaran data diamati dari dua lokasi sumur (kuning dan hijau) menunjukkan deviasi dari hubungan liniernya. Hubungan linier yang akurat misalnya melalui machine learning bukan menjadi prioritas utama, memahami efek geologi terhadap penyebaran data adalah kerangka penalaran fisika batuan dalam alurkerja seismik QI untuk memprediksi properti reservoir

berikan landasan hubungan perubahan sifat elastik (kecepatan dan densitas) terhadap kompresibilitas ini untuk dapat kita amati melalui data seismik. Jadi demikian interaksi antara masing-masing kerangka teori pembentuk amplitudo seismik yang kita lihat pada penampang seismik untuk dapat dihubungkan dengan kondisi geologi atau kondisi bawah permukaan lainnya akibat proses produksi. Ketiga kerangka teori ini menggabungkan disiplin ilmu geologi, fisika batuan dan seismologi sebagai ilmu dasar untuk kemudian dapat dikembangkan untuk menyelesaikan persoalan yang lebih kompleks, sebagai kontrol penggunaan teknologi kecerdasan buatan dan algoritmanya, dan pengembangan teori serta pendekatan baru atas masalah baru.

Terlepas dari jumlah data sumur maupun besarnya volume data seismik yang digunakan, secara umum pengerjaan alurkerja QI adalah melakukan tinjauan kritis atas data yang dibagi menjadi tiga tahapan besar seperti terlihat pada diagram umum Gambar 2. Tahap pertama adalah tahap Feasibiliti, prosesnya mencakup sebagian besar pengerjaan QI bertujuan untuk memastikan konsistensi dan kesuksesan proyek QI. Di dalamnya termasuk studi regional, pengumpulan data, QC data, analisis petrofisika, koreksi dan modifikasi log, identifikasi lithofasies, substitusi fluida, pembuatan turunan log elastik, analisis tren kedalaman, analisis fisika batuan, analisis AVO, 1D model, 2D model dan feabiliti inversi. Tahap kedua adalah tahap Inversi, prosesnya mencakup pengkondisian data seismik terutama *pre-stack data*,

iterasi ikatan sumur dan ekstraksi *wavelet*, pembuatan model awal, pemilihan tipe inversi, eksekusi proses inversi dan optimisasinya. Tahap ketiga adalah tahap Prediksi, prosesnya termasuk validasi hasil inversi, konsolidasi inversi dan geoselular model, pembuatan seismik sintetik, prediksi distribusi reservoir, prediksi fluida, prediksi tekanan reservoir dan melakukan iterasi. Alurnya yang sistematis memungkinkan untuk selalu berpikir kritis dan melakukan analisis yang mendalam pada tiap tahapnya.

Dalam konteks tahapan eksplorasi dan produksi migas di bagian manapun, karena berawal dari penalaran fisika yang kongkrit maka seharusnya alurkerja QI memberikan penambahan nilai yang lebih jelas. Diantaranya, alurkerjanya dapat diulang jika ada data baru atau jika dilakukan pada masa yang berbeda karena urutan pengerjaan akan selalu sama, juga pemakaian hubungan empiris dan teori yang digunakan akan sama. Kemudian alurkerja QI akan memberikan produk sesuai kebutuhan dengan penjelasan resiko dan ketidakpastian melalui kerangka probabilistik dan deterministik. Tidak semua alurkerja seismik QI harus diakhiri dengan membuat model porositas dari Impedansi hasil inversi, tetapi hampir semua tahapan menuntut interpretasi terukur. Walaupun terminologi kuantitatif tidak sama dengan presisi, karena itu di alam alurkerja QI selalu dibahas mengenai rentang ketidakpastian dan proses stokastik untuk memodelkan estimasi ketidakpastian pada tingkat yang



Gambar 2. Tahapan utama alurkerja seismik QI yang sistimatis memberikan opsi dan kesempatan untuk membuat keputusan-keputusan kritis dalam menghasilkan produk interpretasi sesuai kualitas data, waktu pengerjaan yang diperlukan, dan sesuai yang diperlukan dalam tahapan eksplorasi maupun produksi

dapat diterima oleh semua pihak dalam menentukan lokasi sumur-sumur eksplorasi dan produksi terbaik.

Saat ini pemakaian data seismik untuk kegiatan eksplorasi dan produksi dengan segala argumentasinya masih tidak optimum. Sebanyak 60 – 70% data seismik masih tidak diinterpretasi secara maksimal, dengan berbagai alasan dan *bottleneck* nya. Sementara tantangan ke depan untuk mencari reservoir berukuran besar semakin tinggi, pemakaian teknologi akan membawa interpretasi menjadi semakin bersifat statistik tanpa penalaran fisika. Karena itu dengan edisi khusus ini diharapkan memicu diskusi fundamental atas masalah konsep awal dan teori dasar untuk mengarahkan teknologi dan analisis informasi menjadi lebih bernalar.

Terdapat tujuh artikel dalam edisi khusus ini yang terbagi menjadi tiga tahapan alurkerja QI. Artikel dari penulis Zanetta, dkk. dan Novia dkk. membahas mengenai penalaran variasi elastik batuan menggunakan data log sumur terhadap variasi sifat properti reservoir seperti kandungan mineral pembentuk batuan dominan, porositas dan permeabilitas untuk mengisolasi interval reservoir pada data sumur. Beberapa sifat elastik dasar memberikan sensitivitas tinggi terhadap properti, tetapi dalam beberapa kasus kombinasi sifat elastik dan turunannya seperti komposisi dan *pore stiffness* digunakan untuk memperkuat sensitivitas pemisahan properti reservoir (proses *decoupling*). Penalaran ini dapat digunakan untuk menentukan proses inversi atau analisis AVO apa yang terbaik dalam menurunkan properti reservoir. Kemudian contoh proses alurkerja QI menggunakan variasi *reflectivity* diwakili oleh artikel yang ditulis oleh Wihardy dan Khairy, serta Mandong, dkk. Mereka menyampaikan aplikasi praktis variasi tren spektrum frekuensi atas variasi saturasi hidrokarbon yang berbeda dan dapat diinterpretasi melalui data *post-stack reflectivity* tanpa melakukan inversi. Hipotesis teknik ini adalah saturasi hidrokarbon akan memberikan efek atenuasi dan penurunan frekuensi. Identifikasi saturasi dapat digunakan melalui analisis kemiringan spektrum frekuensi dan melalui variasi dekomposisi spektrum. Meskipun dari sisi teori masih terdapat perbedaan pendapat mengenai kausalitas saturasi hidrokarbon dan penurunan

frekuensi, tetapi telah banyak dipublikasikan secara empiris hubungan antara keduanya seperti juga yang disampaikan pada kedua artikel ini. Wihardy dan Khairy melakukan pemetaan probabilitas gas saturasi dan diangkat secara empiris terhadap data sumur yang tersedia. Mandong, dkk. Menunjukkan konsistensi atribut *post-stack* ini dibandingkan dengan analisis *pre-stack*. Jika terdapat keterbatasan waktu, alat dan data maka analisis ini dapat saja digunakan sebagai alternatif kegiatan penentuan lokasi eksplorasi *lead* dan *prospect*. Tetapi karena sifatnya yang empiris dan prosesnya bergantung pada kandungan frekuensi data maka penerapan dan hasilnya pada setiap lapangan akan berbeda dan analisis harus dilakukan secara hati-hati. Jika proses seismik QI melibatkan inversi maka prosesnya memerlukan tahapan *review* yang mendalam, Pramudito, dkk. menyampaikan pentingnya memperhatikan kualitas model awal atau model frekuensi rendah (LFM) yang didapatkan dari kombinasi data sumur dan pengetahuan geologi karbonat di lapangan. Iterasi dilakukan dengan menggunakan hasil inversi awal dan asumsi linear antara variabel independen dalam konsep Markov-Bayes. LFM hasil iterasi diamati lebih mendekati tren geologi daripada LFM yang hanya menggunakan data sumur saja. Hal ini merupakan *best practices* pada lapangan karbonat karena pembuatan LFM pada lapangan karbonat diketahui sangat bervariasi secara spasial. Dalam konteks full-wave inversion dengan menggunakan semua komponen fenomena gelombang, Sigalingging, dkk. juga menunjukkan sensitivitas pemodelan frekuensi rendah menggunakan dua algoritma *deep learning* untuk melakukan prediksi frekuensi rendah dari data seismik sendiri tanpa harus melakukan *pre-processing*. Proses pemulihan frekuensi rendah memang menjadi pembahasan yang menonjol saat ini dan tetap perlu dilakukan beberapa ujicoba terhadap beberapa data yang diketahui jawabannya atau data sintetik seperti yang disampaikan pada artikel ini sebelum diterapkan pada data sesungguhnya, karena dampak dan kompleksitas ekstrapolasi frekuensi data rendah masih memerlukan proses pemahaman yang lebih baik dari penalaran fisiknya. Artikel terakhir dari Prastama dan Winardhi menunjukkan proses

interpretasi sifat properti reservoir berupa litologi dan fluida dari hasil inversi. Teknik interpretasi termasuk analisis linier dua variabel, interpretasi deterministik dan klasifikasi adalah teknik-teknik yang dapat digunakan untuk interpretasi properti. Sebagai alternatifnya, teknik stokastik dan probabilistik dapat digunakan untuk memberikan *soft properties* seperti "*probability of high porosity sand*" dan bukan "*porosity volume*" yang bersifat deterministik. Kedua hasil inversi tersebut sudah banyak terbukti berguna sebagai produk karakterisasi seismik tergantung kebutuhannya. Tetapi proses stokastik ini harus didahului dengan pemahaman yang solid mengenai geologi dan fisika batuan seperti yang telah disebutkan pada tahap pertama Gambar 2 di atas, sehingga alurkerja inversi dan proses stokastiknya tidak menjadi sekedar proses observasi statistik tanpa batasan penalaran fisik. Dengan demikian maka perwakilan artikel-artikel yang dipublikasikan pada edisi khusus ini mewakili tahapan inti alurkerja seismik QI. Akan terdapat banyak pembelajaran dari kasus studi lain pada lapangan lain. Dengan publikasi dan diskusi seperti ini, maka akan terdapat pengetahuan yang dicapai oleh praktisioner dan akademisi sebagai komunitas untuk meningkatkan alurkerja dan mendapatkan reservoir dengan skala besar seperti yang diharapkan oleh semua pihak.