



Majelis Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**Profesor Awali Priyono**

**PERANAN TEKNOLOGI SEISMIK  
DALAM EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI  
SUMBER DAYA ENERGI**

22 Maret 2013  
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung**  
22 Maret 2013

**Profesor Awali Priyono**

**PERAN TEKNOLOGI SEISMIK  
DALAM EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI  
SUMBER DAYA ENERGI**



Majelis Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Judul: PERAN TEKNOLOGI SEISMIK DALAM EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI SUMBER DAYA ENERGI.

Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB, tanggal 22 Maret 2013.

#### Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

#### UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Data katalog dalam terbitan

Awali Priyono

PERANAN TEKNOLOGI SEISMIK DALAM EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI SUMBER DAYA ENERGI

Disunting oleh Awali Priyono

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2013

vi+46 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-62-6

1. Teknologi Seismik 1. Awali Priyono

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karuniaNYA sehingga naskah pidato ilmiah ini dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyampaikan pidato ilmiah di hadapan sidang pleno yang terhormat.

Pidato ilmiah yang disampaikan berjudul "**Peran Teknologi Seismik Dalam Eksplorasi dan Eksploitasi Sumber Daya Energi**" ini merupakan bentuk pertanggungjawaban akademik penulis sebagai Guru Besar ITB dalam bidang Seismologi Eksplorasi yang merupakan bidang penulis tekuni selama ini.

Dalam pidato ilmiah ini penulis menyampaikan tentang perkembangan teknologi seismik, peranannya dalam eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya energi dari dalam bumi, tantangan, dan peranannya dimasa yang akan datang, khususnya di Indonesia.

Semoga pidato ilmiah ini dapat memberikan gambaran kontribusi teknologi seismik dalam eksplorasi dan eksplotasi sumber daya energi, khususnya di Indonesia.

Bandung, 22 Maret 2013

**Awali Priyono**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
1. PENDAHULUAN .....	1
2. SEKILAS PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SEISMIC .....	3
3. SEISMIC SEBAGAI ALAT EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI .....	5
4. SEISMIC SEBAGAI ALAT KARAKTERISASI RESERVOIR .....	9
5. PENELITIAN SEISMIC DAN APLIKASINYA .....	14
5.1. Studi Anisotropi .....	14
5.2. Studi Atenuasi .....	20
5.3. Studi Tomografi .....	22
6. PERAN TEKNOLOGI SEISMIC DI MASA MENDATANG .....	25
7. PENUTUP .....	29
DAFTAR PUSTAKA .....	30
UCAPAN TERIMA KASIH .....	34
CURRICULUM VITAE .....	37

# PERAN TEKNOLOGI SEISMIK DALAM EKSPLORASI DAN EKSPLORASI SUMBER DAYA ENERGI

## 1. PENDAHULUAN

Seismologi adalah bagian dari ilmu kebumiharian yang mempelajari efek getaran yang menghasilkan gelombang yang menjalar dalam bumi, dan selanjutnya gelombang tersebut direkam dengan alat penerima dipermukaan bumi. Data hasil rekaman tersebut kemudian diolah untuk memperoleh informasi tentang geometri struktur, jenis, dan sifat fisika batuan dalam bumi. Sumber getaran ini dapat dihasilkan oleh sumber alami berupa sumber gempa bumi maupun oleh sumber getaran buatan manusia, seperti dinamit, *airgun*, *vibroseis*, dan sebagainya. Sumber jenis kedua inilah yang digunakan dalam Seismologi Eksplorasi untuk memetakan geometri struktur bawah permukaan bumi serta untuk estimasi jenis dan sifat fisika batuan dalam eksplorasi sumber daya energi, seperti minyak dan gas bumi (migas). Dalam eksplorasi geofisika, teknologi seismik refleksi telah memberikan kontribusi besar dalam menemukan cadangan migas. Walaupun demikian tantangan eksplorasi di masa mendatang adalah sulitnya menemukan cadangan baru, mengingat jebakan struktur berupa perangkap lipatan dan patahan yang selama ini menjadi target utama makin sulit ditemukan. Selain perlunya ditemukan konsep-konsep baru dalam geologi untuk mengarahkan target eksplorasi, ahli geofisika dan seismologi dituntut untuk mengembangkan

teknik baru untuk menjawab tantangan yang disebutkan di atas. Target-target stratigrafis, reservoir pada rekahan batuan dasar, eksplorasi di laut dalam dan daerah sulit lainnya, adalah tantangan yang dihadapi saat ini maupun dimasa mendatang.

Peran teknologi seismik dalam karakterisasi reservoir dan *Enhanced Oil Recovery (EOR)* perlu ditingkatkan untuk meningkatkan perolehan minyak dan gas bumi. Hasil penelitian yang telah dimulai sejak dekade-dekade yang lalu menunjukkan bahwa parameter kecepatan penalaran, atenuasi, baik gelombang P maupun gelombang S dan konstanta elastis yang diturunkannya berkontribusi besar dalam usaha mengenal sifat fisika batuan, seperti porositas, *pore fluid*, permeabilitas, dan lainnya. Walaupun teknologi eksplorasi seismik telah berhasil memetakan bawah permukaan dalam bentuk geometri struktur yang akurat, bahkan dalam bentuk tiga dimensi (3-D), namun hal-hal yang berkaitan dengan estimasi sifat-sifat fisik batuan dengan ketelitian tinggi masih perlu pengembangan lebih lanjut. Demikian pula dengan masalah mengenai reservoir pada selang-seling lapisan tipis ataupun pada zona rekahan pada batuan dasar. Sehubungan dengan masalah-masalah di atas, maka di masa mendatang teknik-teknik akuisisi, pengolahan, analisis, dan interpretasi data masih terus dikembangkan untuk dapat menjawab tantangan tersebut.

## 2. SEKILAS PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SEISMIK

Perkembangan teknologi seismik (eksplorasi) melalui sejarah yang sangat panjang, dimulai dengan dipatenkannya seismograf mekanik oleh Mintrop di Jerman tahun 1914. Di Amerika Serikat metode seismik ini diperkenalkan oleh Fassenden tahun 1915. Pada tahun 1920-an metode seismik baik refraksi maupun refleksi dicoba diterapkan dalam usaha eksplorasi. Pada era ini pula metode akuisisi seperti *fan shooting* dan *dip shooting* dalam metode seismik refleksi diperkenalkan. Perkembangan penting yang terjadi pada tahun 1930-an adalah ditemukannya *Automatic Gain Control*, penggunaan *multiples geophones* per-grup dan *recording* pertama yang dapat diproduksi. Sedangkan pada periode 1940-an sudah diperkenalkan penampang record berupa *optical mirragraph* dan pada periode ini dilakukan survei seismik laut dalam skala besar. Pada awal tahun 1950-an, teknik *Common Mid Point (CMP)* diperkenalkan. Teknik ini memberikan perbaikan yang signifikan terhadap kualitas data seismik, terutama yang berkaitan dengan peningkatan *signal-to-noise ratio*, sehingga penampang seismik dapat memberikan gambaran bawah permukaan yang lebih baik. Dari aspek akuisisi data pada periode ini ditemukan *analog magnetic recording* dan *vibroiseis weight-dropping*.

Selanjutnya pengolahan data seismik refleksi diproses secara digital pada awal tahun 1960-an. Pada periode ini sebagian besar ahli seismik banyak terlibat dalam analisis deret waktu, *filtering* dan penggunaan teknologi komputer digital. Pada periode ini pula ditemukan sumber

energi gelombang berupa *air gun*, yaitu sumber energi pembangkit gelombang di laut.

Pada awal tahun 1970-an teori persamaan gelombang diperkenalkan dalam migrasi seismik dan kemudian menjadi sangat populer. Hal yang sangat penting pada periode ini adalah diperkenalkannya metode seismik 3-D. Dengan teknik akuisisi dan pengolahan data yang lebih maju, seismik 3-D memberikan citra yang lebih baik dan akurat, baik untuk tujuan interpretasi struktural maupun stratigrafis. Dengan demikian seismik 3-D ini telah memberikan kontribusi yang besar dalam meningkatkan tingkat keberhasilan dalam menentukan titik pemboran dan sekaligus dapat mengurangi ketidakpastian dalam kegiatan eksplorasi, pengembangan, maupun produksi minyak dan gas bumi.

Pada era tahun 1980-an terjadi perkembangan yang penting dalam komputer *hardware* membuat kemudahan-kemudahan dalam penyelesaian masalah-masalah komputasi yang menyangkut algoritma yang kompleks dan masalah data dalam volume yang besar, dimana masalah ini belum terpikirkan pada tahun 1970-an. Pada era ini teknologi *hardware* seperti *supercomputer* dan *workstation* secara luas digunakan dalam pengolahan data seismik maupun interpretasi. Tahun 2000-an, dari aspek akuisisi terjadi kemajuan besar baik yang menyangkut instrumentasi dan alat-alat pendukungnya, termasuk geophon 3-C (tiga komponen) dan jumlah saluran (*channel*) yang besar.

Dalam tahap perkembangan berikutnya metode seismik bukan hanya

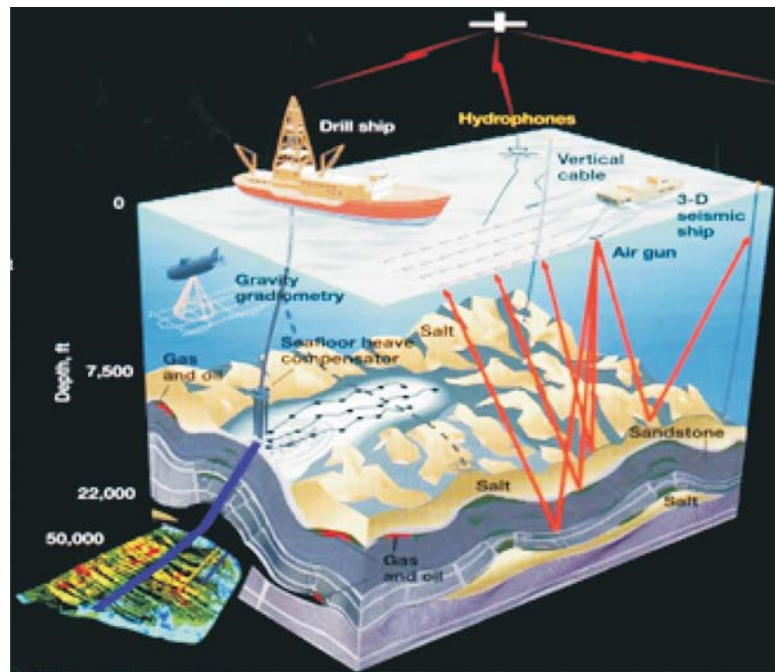
digunakan sebagai alat eksplorasi dan pengembangan lapangan migas, tetapi juga digunakan sebagai alat monitoring. Dalam hubungannya dengan masalah ini diperkenalkan metode seismik empat dimensi (4D) atau *seismic time-lapse*. Seismik 4D adalah seismik 3D yang pengukurannya dilakukan secara berulang di tempat yang sama, untuk memantau perubahan sifat fisik yang terjadi pada reservoir selama produksi berlangsung. Dengan seismik 4D ini, gerakan fluida dapat diantisipasi dalam rangka optimalisasi produksi. Dengan cara ini aliran fluida minyak dan atau gas dapat dipetakan, sehingga penempatan ekstraksi dan injektor sumur bisa diatur penyebarannya, dengan demikian tingkat produksi dapat ditingkatkan. Seismik 4D telah berhasil diterapkan dilapangan Duri - Provinsi Riau untuk menempatkan injektor sumur dalam proyek injeksi uap untuk memproduksi minyak dengan viskositas tinggi. Dengan cara ini dapat ditingkatkan efisiensi pemulihan reservoir yang kompleks secara signifikan.

### 3. SEISMIK SEBAGAI ALAT EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI

Seismologi eksplorasi adalah metode seismik yang didasarkan atas analisis gelombang refleksi dari lapisan-lapisan batuan bawah permukaan. Gelombang seismik direkam di permukaan bumi dengan menggunakan geophon berupa respon amplitudo dan waktu kedatangan gelombang. Dalam penjarannya di dalam bumi, gelombang dari sumber



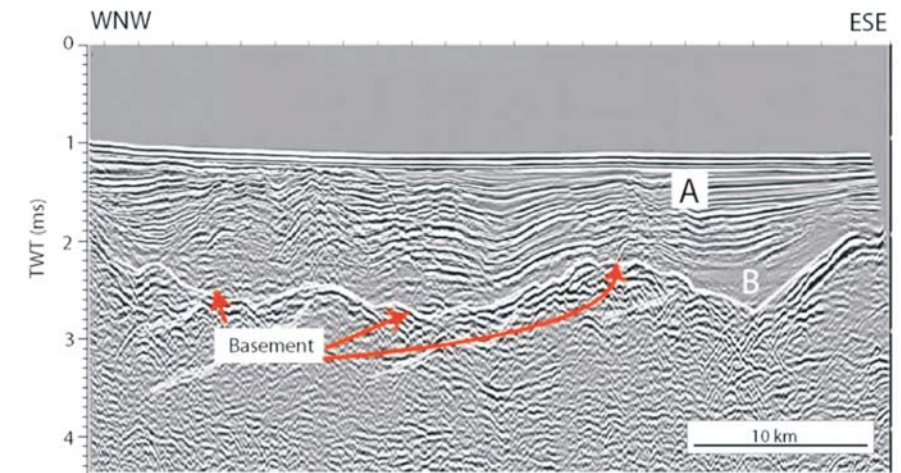
sampai ke penerima akan mengalami beberapa proses, seperti pengurangan energi akibat faktor jarak, atenuasi, dan gangguan yang lain, sehingga energi dari refleksi gelombang dipengaruhi oleh banyak faktor. Oleh karena itu data tersebut harus diproses untuk menghilangkan faktor-faktor yang tidak diinginkan, memperbaiki resolusi dan meningkatkan *signal-to-noise ratio*, sehingga diperoleh bentuk penampang yang menggambarkan perlapisan dan bentuk struktur bawah permukaan. Gambar 1 memberikan ilustrasi survei seismik yang dilakukan dilaut, dimana sumber energi diledakkan dipermukaan menggunakan *airgun* dan gelombang terpantul dan gelombang lainnya direkam dipermukaan menggunakan hidropon.



Sumber: Schlumberger, 1999

Gambar 1. Ilustrasi akuisisi data seismik di laut.

Gambar 2 memperlihatkan contoh penampang seismik 2D yang menggambarkan geometri struktur dan perlapisan lapisan batuan bawah permukaan.



(Sumber: Bell, 2011)

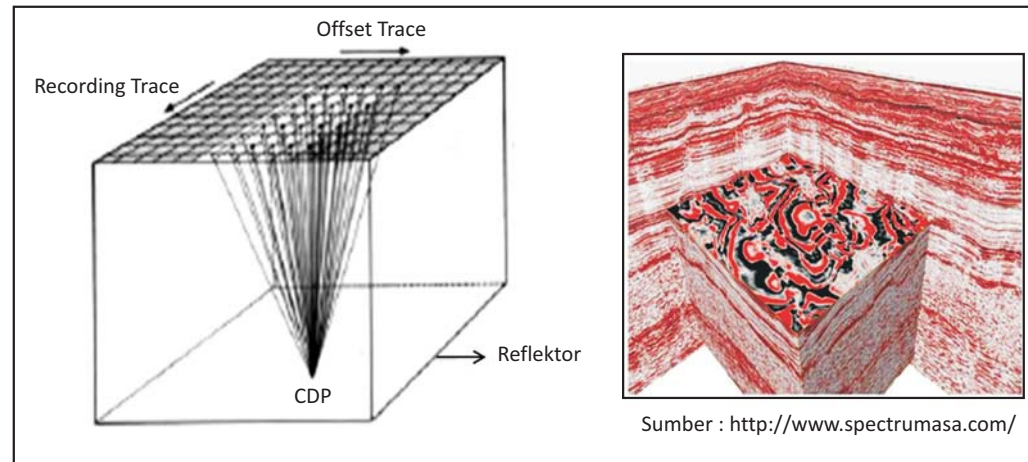
Gambar 2. Tampilan penampang seismik 2D.

Peran metode seismik dalam eksplorasi migas adalah memberikan gambaran bawah permukaan secara jelas dan benar, sehingga mendekati model geologi yang sebenarnya. Hasil akuisisi dan pengolahan data yang baik akan memudahkan dalam interpretasi geologi dan memudahkan interpreter untuk mengenali dan mendefinisikan adanya komponen *petroleum system* yang merupakan petunjuk ada dan tidak adanya jebakan migas di suatu daerah.

Oleh karena geometri struktur bawah permukaan memiliki bentuk tiga dimensi, maka untuk tujuan ini diperlukan seismik 3D. Dengan seismik 3D juga dapat dilakukan pemetaan fasies dan estimasi sifat fisika



batuan lebih akurat. Pada seismik 3D, informasi bawah permukaan dapat dilihat dari berbagai arah potongan (mendatar, tegak, dan diagonal) sesuai dengan keperluan interpreter, seperti diperlihatkan pada gambar 3.



**Gambar 3.** Ilustrasi akuisisi seismik 3D (kiri) dan tampilan seismik 3D (kanan).

Keberhasilan seismik refleksi dalam eksplorasi hidrokarbon tidak semata-mata hanya didukung oleh teknik akuisisi-instrumentasi serta pengolahan dan analisis data yang canggih, tetapi juga perlu didukung terobosan baru dan pengembangan konsep-konsep geologi yang dapat mengarahkan untuk mencapai keberhasilan tersebut. Salah satu hal yang sangat fundamental dalam hubungannya dengan interpretasi data seismik adalah ditemukannya konsep seismik stratigrafi oleh perusahaan Exxon tahun 1970-an. Pada dasarnya seismik stratigrafi adalah penafsiran stratigrafi dari data seismik, karena pola refleksi mengikuti korelasi kronostratigrafi (Vail dkk, 1977). Dengan konsep ini data seismik dapat

digunakan sebagai alat identifikasi sekuen pengendapan, *system tracks*, dan analisa fasies untuk memahami paleogeografi dan sejarah geologi. Dengan demikian maka dari seismik stratigrafi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi, mendefinisikan, memetakan batuan reservoir, batuan induk, dan tutupan dari suatu perangkat hidrokarbon yang merupakan bagian dari *petroleum system*. Dengan kata lain konsep-konsep dalam seismik stratigrafi ini sangat membantu dalam deliniasi prospek migas maupun dalam pengembangan suatu lapangan.

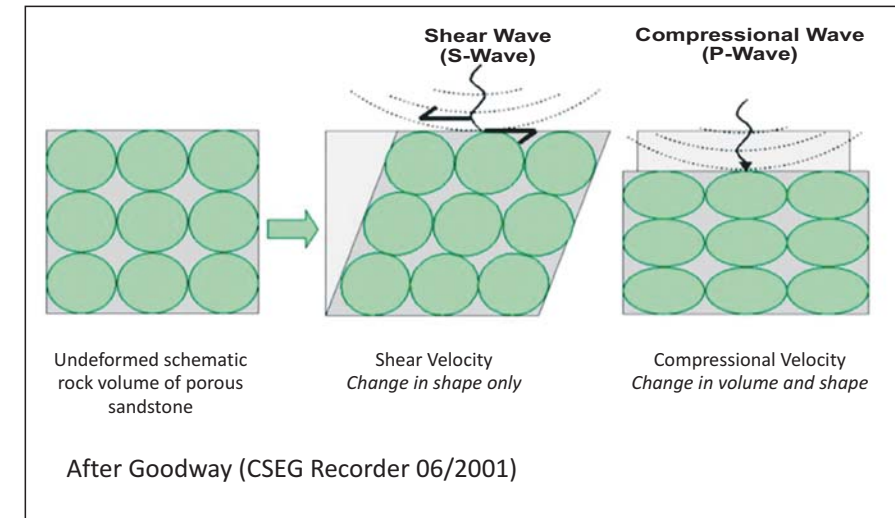
Sejak diperkenalkannya anomali refleksi berupa penguatan amplitudo pada bidang batas reservoir gas pada akhir tahun 60-an, banyak penelitian yang intensif dalam lingkup *seismic amplitude* yang bertujuan agar data seismik dapat digunakan sebagai alat deteksi keberadaan hidrokarbon secara langsung. Dari ide dasar ini selanjutnya berkembang metode-metode dalam analisis data seismik yang bertujuan untuk estimasi sifat-sifat fisika batuan. Hal yang terakhir inilah yang mendasari teknik-teknik lain dalam analisis data seismik untuk mendukung peranannya dalam karakterisasi reservoir.

#### 4. SEISMİK SEBAGAI ALAT KARAKTERISASI RESERVOIR

Telah disebutkan sebelumnya bahwa pada tahap awal perkembangannya, metode seismik hanya digunakan untuk menentukan geometri struktural untuk mencari dan memetakan jebakan migas. Maka

dalam perkembangan selanjutnya, pada tahun 1970-an, data seismik selain digunakan untuk analisa stratigrafi, juga digunakan untuk estimasi jenis dan sifat fisika batuan. Pada interpretasi struktural, interpreter hanya tertarik pada bentuk-bentuk perlipatan dan sesar yang terlihat pada penampang seismik, maka pada tahap ini parameter gelombang yang diturunkan dari gelombang pantul, yang selanjutnya dikenal sebagai *seismic attributes*, digunakan untuk mengenali dan memisahkan berbagai jenis batuan dalam reservoir, estimasi sifat fisika batuan dan kandungan hidrokarbon dalam batuan.

Dalam batuan reservoir, penjalaran gelombang seismik yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh faktor pemampatan dan peregangan partikel-partikel dalam medium, tetapi juga dipengaruhi oleh adanya aliran fluida dalam pori batuan akibat adanya *stress gradient* yang bekerja pada medium berpori tersebut. Pada medium seperti ini, kecepatan penjalaran gelombang seismik dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti : densitas *bulk*, rigiditas, kompresibilitas matrik, kompresibilitas fluida, kompresibilitas batuan kering dan porositas. Ilustrasi penjalaran gelombang P dan S pada medium porous diperlihatkan pada gambar 4.



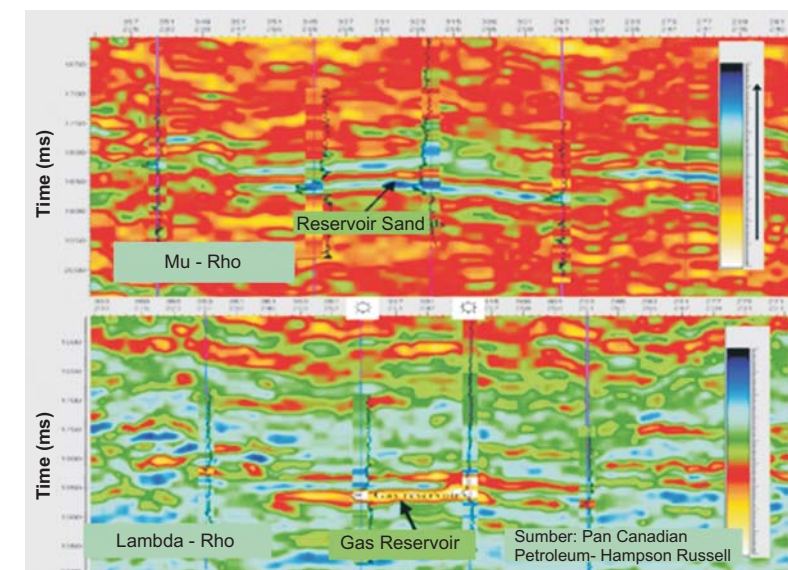
**Gambar 4.** Ilustrasi penjalaran gelombang P dan gelombang S dalam medium porous.

Biot (1956) memperlihatkan kesamaan hasil pekerjaan Gassman (1951) yang berkaitan dengan teori gelombang elastik dalam media porous dalam hal prediksi kecepatan gelombang P dan S dalam batuan-batuan porous dengan variasi derajat saturasi gas. Biot (1956) memperlihatkan persamaan gerak gelombang yang menyatakan gerak gelombang dilatasi dan persamaan gelombang difusi sehingga viskositas fluida mempunyai pengaruh juga terhadap penjalaran gelombang seismik. Analisis kecepatan penjalaran gelombang P dan S merupakan alat bantu penting dalam usaha memahami sifat batuan maupun fluida dalam reservoir. Kecepatan gelombang P akan mengalami penurunan secara signifikan dibandingkan gelombang S dalam reservoir hidrokarbon, sehingga  $V_p/V_s$  dan parameter elastis yang diturunkannya dapat digunakan sebagai alat yang baik untuk estimasi jenis dan sifat fisika

batuan dan fluida yang terkandung di dalamnya.

Pada awalnya, parameter seismik yang digunakan untuk mengenali dan memisahkan berbagai jenis batuan adalah nilai impedansi akustik yang diperoleh dari inversi gelombang pantul yang direkam. Dalam praktek, nilai impedansi akustik tidak selalu dapat memisahkan berbagai jenis batuan tersebut, sehingga berkembang metode-metode lain untuk melengkapi kekurangan metode ini. Pada tahun 1990-an terjadi perkembangan yang cukup signifikan dalam analisis data seismik, yaitu diperkenalkannya metode AVO (*Amplitude Versus with Offset*) yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan hidrokarbon. Dengan melakukan analisis terhadap perubahan amplitudo terhadap *offset* atau sudut datang, dapat diperkirakan jenis dan sifat batuan serta fluida yang terkandung di dalamnya. Perilaku anomali AVO yang berbeda pada reservoir *gas sand* dan *wet sand* inilah yang menjadikan AVO lebih populer, dan disebut sebagai alat deteksi langsung keberadaan minyak dan gas bumi. Variasi nilai koefisien refleksi terhadap sudut datang, diformulasikan pertama kali oleh Knott (1899) dan Zoeppritz (1919). Selanjutnya Koefoed (1955) adalah peneliti yang pertama kali mengungkapkan perubahan koefisien refleksi terhadap sudut datang akibat perbedaan harga *Poisson's ratio* antara dua lapisan yang dibatasi oleh reflektor. *Poisson's ratio* merupakan parameter penting dalam usaha untuk memisahkan fluida gas, minyak, dan air dalam batuan pasir dan batuan lainnya dalam lapisan batuan. Pada saat itu belum terpikirkan bahwa pekerjaannya tersebut akan mempunyai arti yang sangat penting dalam

hubungannya dengan deteksi minyak dan gas bumi. Ostrander (1984), Shuey (1985) dan beberapa peneliti lain mendemonstrasikan respon AVO pada reservoir gas dalam batuan pasir, dan menunjukkan hasilnya sebagai arah menuju deteksi langsung minyak dan gas bumi. Untuk memperbaiki teknik deteksi fluida dan diskriminasi litologi diperkenalkan parameter Impedansi Elastik (Connolly, 1999). Estimasi parameter elastik batuan seperti lamda-rho dan mhu-rho dari inversi gelombang P dan S diperkenalkan oleh (Goodway dkk., 1997), dan selanjutnya Whitcombe (2002) memperkenalkan teknik untuk mendapatkan parameter impedansi elastik lainnya. Gambar 5 (atas) memperlihatkan bagaimana parameter mhu-rho mampu memisahkan batuan pasir dengan batuan lainnya, sedangkan gambar 5 (bawah) memperlihatkan parameter lamda-rho dapat mengidentifikasi adanya gas dalam batuan pasir tersebut.



Gambar 5. Hasil inversi parameter mu-rho dan lambda-rho



Walaupun penelitian dalam analisa data AVO dan perkembangannya sudah cukup maju, tetapi dalam praktek, tidak selalu berhasil. Hal ini disebabkan banyaknya faktor yang berpengaruh terhadap amplitudo itu sendiri, antara lain seperti *array effect*, *inelastic attenuation effect*, *anisotropy effect*, *multiple influence*, dan berbagai jenis *noise*. Disamping itu, informasi tentang amplitudo sangat sensitif terhadap parameter dan sekuen yang digunakan dalam pengolahan data. Topik-topik di atas masih merupakan masalah yang menarik untuk diteliti lebih lanjut.

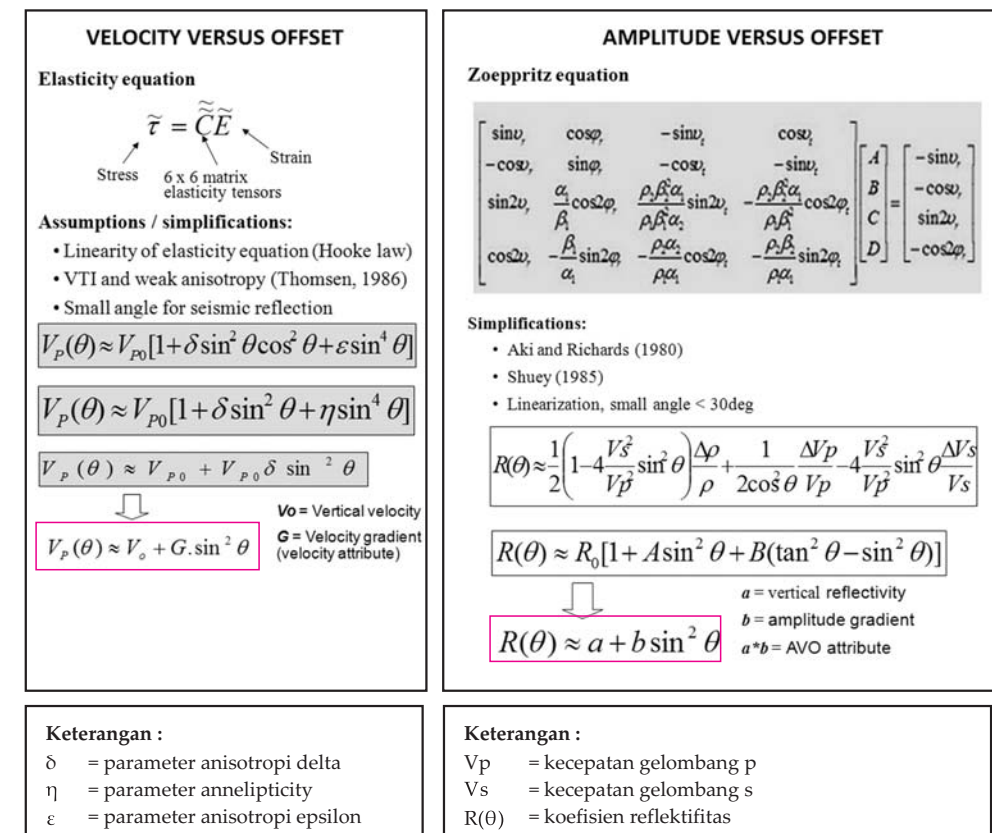
Dalam usaha untuk estimasi jenis batuan dan fluida yang terkandung di dalamnya, berkembang metode-metode dalam analisis data seismik yang diekstrak dari parameter gelombang seismik yang direkam untuk karakterisasi reservoir.

## 5. PENELITIAN SEISMIK DAN APLIKASINYA

### 5.1. Studi Anisotropi

Konsep anisotropi sudah dikenal sejak lama, namun penerapan pengetahuan anisotropi seismik belum banyak berkembang, khususnya dalam eksplorasi dan eksploitasi migas. Beberapa publikasi tentang teori dan eksperimen yang mengarah pada tujuan eksplorasi dilakukan antara lain oleh Brown dkk. (1991), Ebrom dkk. (1996), Thomsen (2000) dan lainnya. Supriyono dkk. (2012) mengajukan metode VVO (*Velocity Versus Offset*), yakni dengan konsep anisotropi ini, dapat dihitung nilai kecepatan

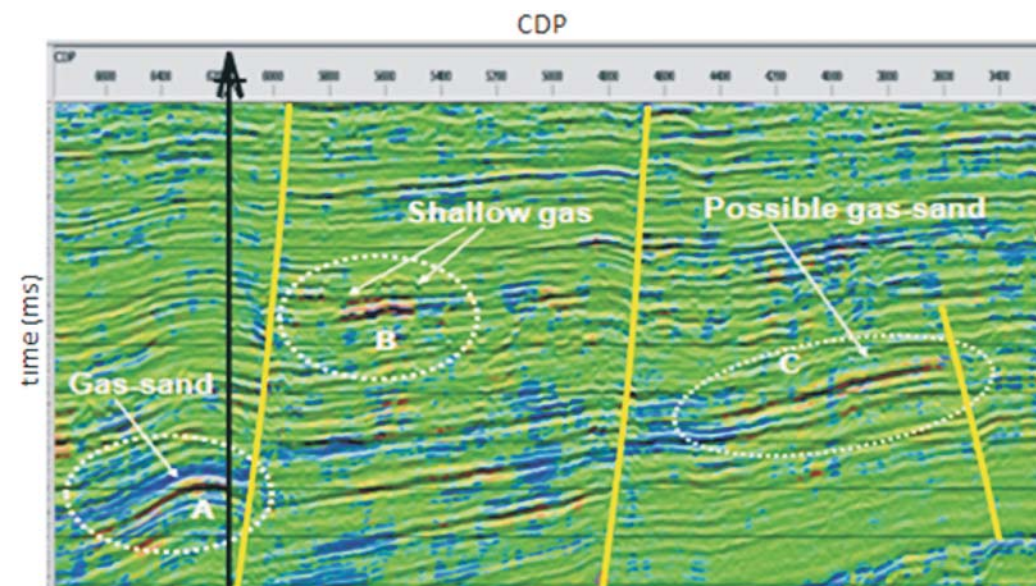
terhadap *offset* atau sudut datang ( $\theta$ ) gelombang pada bidang batas. Dari gradien kecepatan tersebut dapat ditentukan parameter anisotropi epsilon ( $\epsilon$ ) dan delta ( $\delta$ ). Gambar 6 memperlihatkan kemiripan antara metode VVO dan metode AVO, yang membedakan adalah VVO menggunakan gradien kecepatan, sedangkan AVO menggunakan gradien amplitudo. Gradien VVO mengandung unsur parameter anisotropi  $\delta$ , sedangkan gradien AVO mengandung unsur parameter *Poisson ratio*. Keduanya sensitif terhadap keberadaan hidrokarbon dalam reservoir.



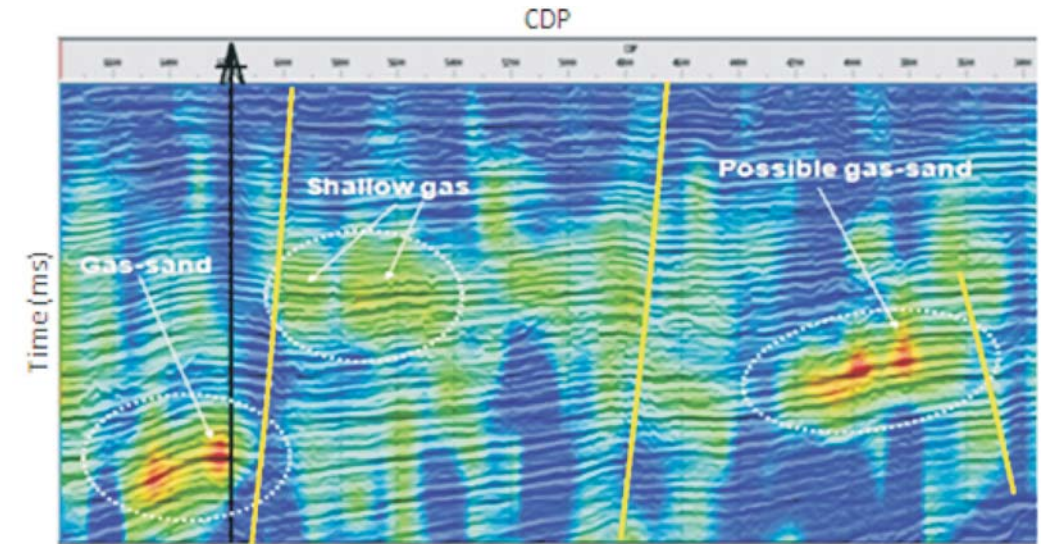
**Gambar 6.** Analogi metode VVO (kiri) dengan metode AVO (kanan). Dari gradien kecepatan dapat digunakan untuk estimasi parameter anisotropi delta ( $\delta$ ) dan epsilon ( $\epsilon$ ).

Gambar 7 memperlihatkan penampang a\*b dari analisis AVO yang dapat menunjukkan adanya keberadaan gas (warna merah) dari reservoir batuan pasir.

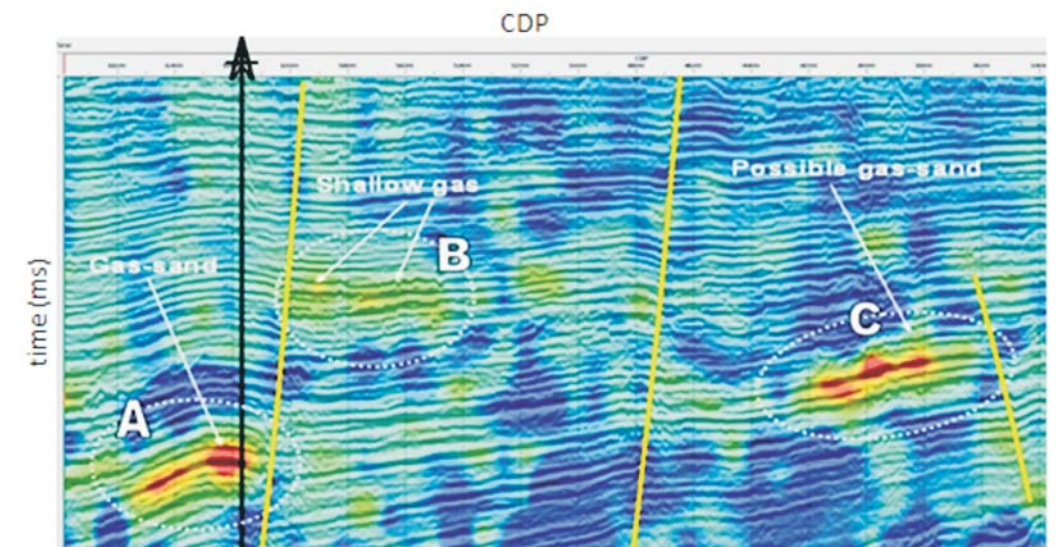
Dengan analisis VVO, keberadaan gas (warna merah) dapat diidentifikasi dari parameter gradien kecepatan, parameter anisotropi  $\delta$  dan  $\epsilon$ , masing-masing diperlihatkan pada gambar 8, 9 dan 10. Kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode AVO adalah data yang diperlukan tidak harus *preserve amplitude*, artinya data yang sudah mengalami penguatan dan bentuk gangguan lainnya akibat akuisisi dan pengolahan data masih dapat digunakan.



Gambar 7. Penampang a\*b untuk deteksi gas dengan analisis AVO

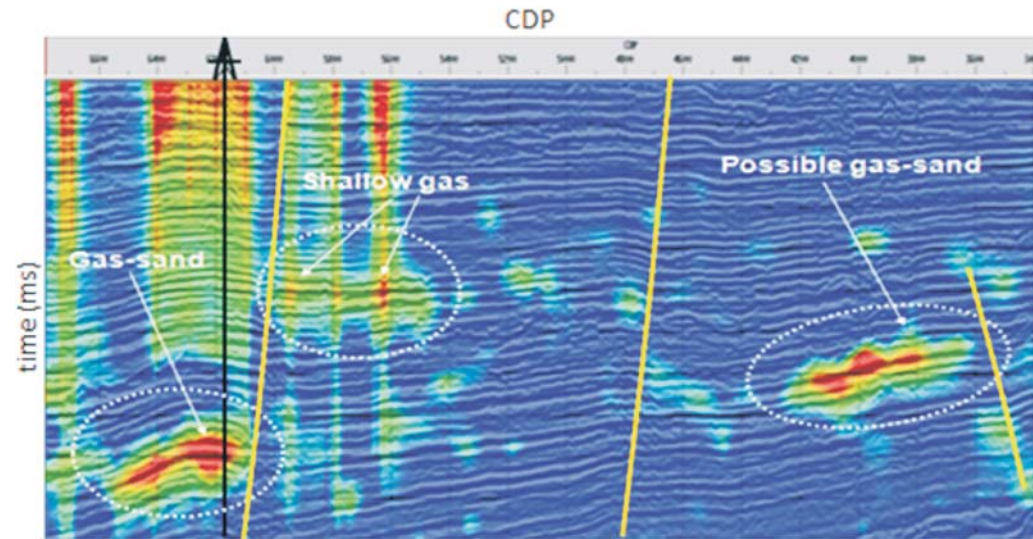


Gambar 8. Deteksi gas dengan parameter gradien kecepatan.



Gambar 9. Deteksi gas dengan parameter anisotropi  $\delta$ .

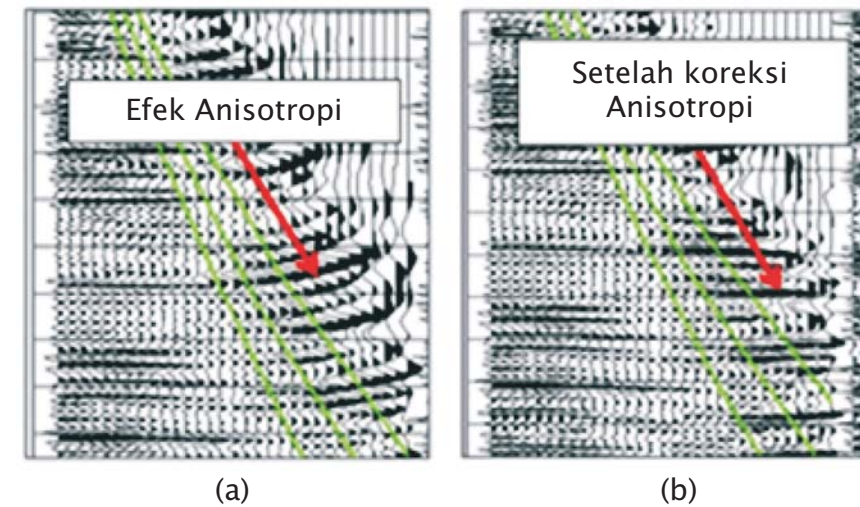




Gambar 10. Deteksi gas dengan parameter anisotropi  $\epsilon$ .

Dari penelitian ini, dapat ditunjukkan bahwa dari sifat anisotropi dapat digunakan sebagai alat deteksi adanya hidrokarbon dan diharapkan dimasa mendatang dapat digunakan sebagai alat untuk karakterisasi reservoir. Saat ini penelitian untuk mendapatkan parameter anisotropi yang lebih akurat masih terus kami lakukan bersama mahasiswa S2 dan S3. Harapan kami hasil studi ini juga dapat digunakan sebagai alat deteksi dan karakterisasi sumber energi *non conventional* seperti *shale gas*, *Coal Bed Methane*, *gas hydrate*, dan lainnya dimasa mendatang. Hasil penelitian seismik anisotropi ini tidak hanya untuk tujuan eksplorasi dan pengembangan hidrokarbon, tetapi juga bermanfaat dalam pengolahan data seismik sendiri, seperti dalam analisa kecepatan dan memberikan ketelitian yang lebih akurat dalam estimasi

kedalaman. Gambar 11 a menunjukkan *CDP gather* yang terpengaruh anisotropi yang memiliki bentuk *hocky stick*, sedangkan gambar 11 b adalah gambar yang telah dilakukan koreksi anisotropi. Jelas bahwa dengan koreksi anisotropi ini menjadikan respon refleksi menjadi datar pada bentuk data *CDP gather*, sehingga dapat menghasilkan penampang seismik yang lebih baik. Dengan koreksi ini akan memperbaiki hasil dari analisis AVO dalam usaha estimasi jenis batuan dan fluida dalam reservoir.



Gambar 11. Manfaat studi anisotropi pada analisa kecepatan dan perbaikan kualitas penampang seismik

Pada kasus lain, sifat anisotropi batuan didasarkan pada gejala terpisahnya gelombang S menjadi dua (*shear-wave splitting*), dimana gelombang S terpolarisasi saling tegak lurus dan menjalar dengan kecepatan yang berbeda. Orientasi dan arah vibrasi gelombang SH dan SV



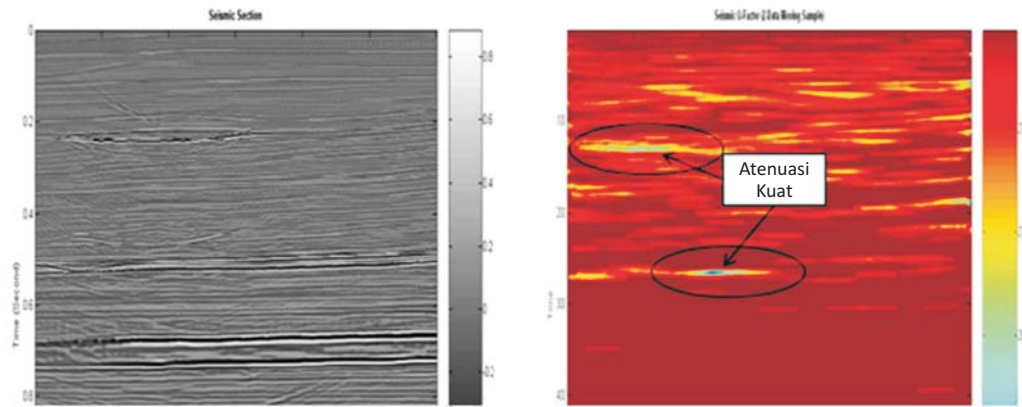
dapat menentukan orientasi rekahan, sedangkan perbedaan kecepatannya menunjukkan derajat anisotropi. Oleh karena itu penemuan hidrokarbon pada batuan dasar pra-tersier di beberapa cekungan di Indonesia merupakan fenomena yang menarik, dimana minyak dan gas bumi terperangkap pada zona-zona rekahan pada batuan beku dan metamorf. Seismik anisotropi diharapkan lebih berperan dalam hal ini dimasa mendatang.

## 5.2. Studi Atenuasi

Atenuasi gelombang seismik dalam batuan dinyatakan dalam *Seismic Quality Factor* (Q). Besarnya atenuasi berbanding terbalik dengan Q. Seperti halnya parameter kecepatan, maka parameter Q ini diharapkan dapat membantu dalam estimasi sifat fisik dan kandungan fluida migas dalam batuan. Dalam beberapa hal, atenuasi lebih sensitif dibandingkan kecepatan. Penelitian mengenai Q sudah dimulai sejak tahun 1960-an, walaupun demikian parameter ini belum optimal dimanfaatkan dalam estimasi sifat fisik dan fluida dalam batuan sampai saat ini. Adanya fluida dalam batuan akan mempengaruhi atenuasi gelombang. Sejumlah mekanisme atenuasi telah diusulkan beberapa peneliti, termasuk aliran inersial fluida terhadap matrik dalam batuan (Markov dan Nur, 1975, O'Connel dan Budiansky, 1977). Kopling antara fluida dan matrik batuan sangat dipengaruhi oleh porositas dan permeabilitas batuan. Interaksi antara viskositas fluida dengan permeabilitas menyebabkan fenomena

relaksasi (White, 1975), (Jackson dkk., 1970). Pada frekuensi tertentu yang disebut sebagai frekuensi relaksasi, atenuasi per-siklusnya menjadi maksimum karena relaksasi hidrodinamis. Permeabilitas merupakan faktor yang paling dominan yang menentukan frekuensi dari puncak relaksasi. Frekuensi relaksasi berbanding lurus dengan porositas, viskositas kinematik dari fluida, dan berbanding terbalik dengan permeabilitas (Yamamoto, 1983). Dengan penjelasan tersebut memberikan indikasi bahwa parameter atenuasi dapat digunakan untuk estimasi porositas, permeabilitas, dan saturasi batuan.

Studi di laboratorium yang intensif mengenai atenuasi dan kecepatan pada batuan porous yang tersaturasi dan tersaturasi secara parsial dipublikasikan oleh Wyllie dkk.(1962). Winkler dan Nur (1979) memperlihatkan data yang menarik tentang hubungan efek dari saturasi fluida yang sangat penting sebagai *diagnostic tool* dalam eksplorasi hidrokarbon. Parameter Q ini sampai sekarang belum diaplikasikan secara optimal dalam eksplorasi dan eksploitasi migas, karena sulitnya mendapatkan nilai Q yang akurat. Oleh karena itu parameter ini masih merupakan topik yang menarik untuk diteliti lebih lanjut, baik dari aspek akuisisi, pengolahan data seismik, dan metode dalam mendapatkan nilai Q. Gambar 12 (kanan) memperlihatkan adanya atenuasi gelombang pada zona yang mengandung gas.



**Gambar 12.** Penampang seismik (kiri) dan zona yang mengalami atenuasi kuat (Q rendah) akibat adanya gas (kanan).

Selain untuk studi karakterisasi migas dalam batuan reservoir, parameter ini bersama parameter kecepatan dapat digunakan dalam memahami sifat fisika dan fluida dalam batuan bawah permukaan lainnya, seperti gunung api (Priyono dkk., 2011), eksplorasi geotermal dan sumber daya bumi lainnya.

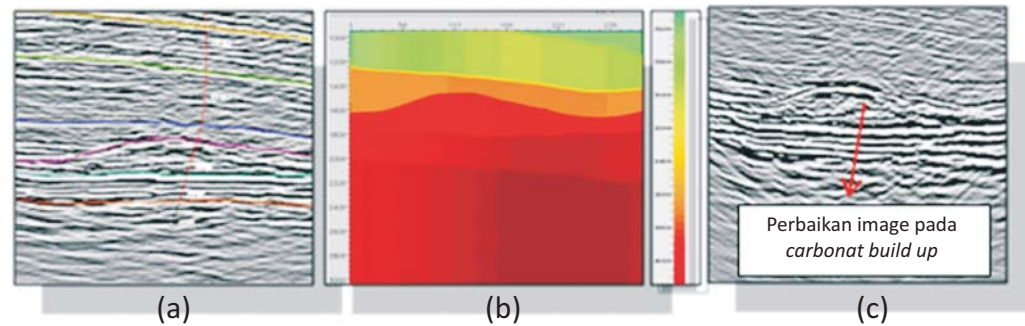
### 5.3. Studi Tomografi

Pencitraan tomografi secara umum didefinisikan sebagai suatu rekonstruksi dari sebuah benda dari observasi besaran fisis yang merepresentasikan efek dari penjalaran suatu bentuk radiasi melalui benda yang diamati. Teknik ini berhasil dilaksanakan di bidang kedokteran yang merupakan dasar untuk *Computerized (CT)/Scanning* untuk memperoleh tomogram dari tubuh manusia dengan resolusi tinggi. Teknik ini juga berhasil diterapkan untuk mencitrakan interior bumi

dalam skala global dan lokal dengan menggunakan gelombang seismik dari data gempa bumi (Grand dkk., 1997; Widiyantoro dkk., 1998). Pada awalnya, untuk keperluan eksplorasi dan geoteknik beberapa ahli menggunakan tomografi dengan menggunakan teknik antar lubang sumur (Bois dkk., 1972). Dalam perkembangannya, tidak hanya gelombang transmisi, tetapi juga gelombang refleksi dan refraksi atau bahkan gelombang multipel. Teknik ini mampu memberikan citra bawah permukaan berdasarkan distribusi kecepatan atau atenuasi gelombang dari hasil inversi data seismik yang terekam. Apabila studi tomografi dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang P dan S, maka tidak mustahil akan diperoleh informasi sifat fisik batuan, seperti porositas, *pore fluid* dan permeabilitas secara spasial dan temporal, sehingga sangat membantu dalam hal *reservoir development*, *reservoir evaluation* maupun dalam kegiatan *EOR monitoring*. Aplikasi tomografi dalam pengolahan data seismik adalah untuk meningkatkan ketelitian dalam menentukan nilai kecepatan penjalaran gelombang pada proses migrasi seismik dalam domain kedalaman. Dengan proses ini penampang seismik lebih mendekati penampang geologi yang sebenarnya.

Gambar 13 a memperlihatkan penampang seismik dalam domain waktu, gambar 13 b memperlihatkan model kecepatan hasil inversi tomografi, dan gambar 13 c memperlihatkan penampang seismik dalam domain kedalaman yang sebagai hasil PSDM (*pre-stack depth migration*) dengan model kecepatan gambar 13b. Terlihat bahwa dengan model

kecepatan ini diperoleh respon seismik yang lebih baik, seperti diperlihatkan pada gambar 13c.

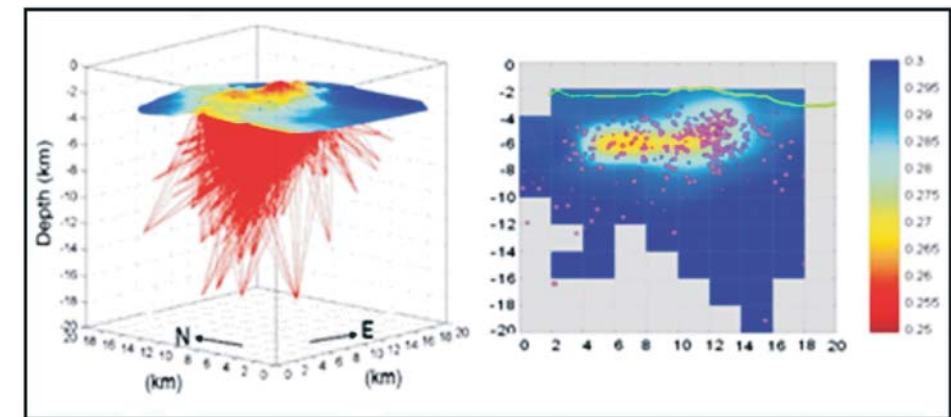


**Gambar 13.** Penampang seismik dalam domain waktu(a), model kecepatan hasil *coherency inversion* dan inversi tomografi (b) dan hasil migrasi dalam domain kedalaman (c).

Teknik tomografi ini juga dapat digunakan dalam usaha mendapatkan citra bawah permukaan menggunakan *crosshole seismic* (Priyono, 1999) dan dapat digunakan untuk pemetaan bawah permukaan dalam skala yang lebih besar, misalnya untuk gunung api dan panas bumi (Priyono dkk, 2011).

Gambar 14 (kiri) memperlihatkan jejak sinar gelombang dari sumber-sumber gempa mikro (hiposentrum) ke station penerima dipermukaan yang digunakan dalam proses inversi tomografi. Gambar 14 (kanan) memperlihatkan citra dari parameter *Poisson's ratio*. Untuk tujuan ini terlebih dahulu dilakukan inversi tomografi, masing-masing untuk gelombang P dan S. Daerah anomali kecepatan P dan S rendah (*Poisson's ratio*  $\approx 0.27$ ) ini kemungkinan berhubungan dengan material vulkanik

yang terisi fluida dengan temperatur tinggi di daerah studi. Parameter fisis lainnya yaitu atenuasi ( $Q^{-1}$ ) juga dapat digunakan untuk mengkarakterisasi dan mempertajam informasi geologi bawah permukaan gunung api dengan pendekatan tomografi atenuasi. Teknik tomografi seperti ini dapat digunakan juga dalam eksplorasi panas bumi.



**Gambar 14.** Hasil inversi tomografi pada pada tubuh gunung Guntur.

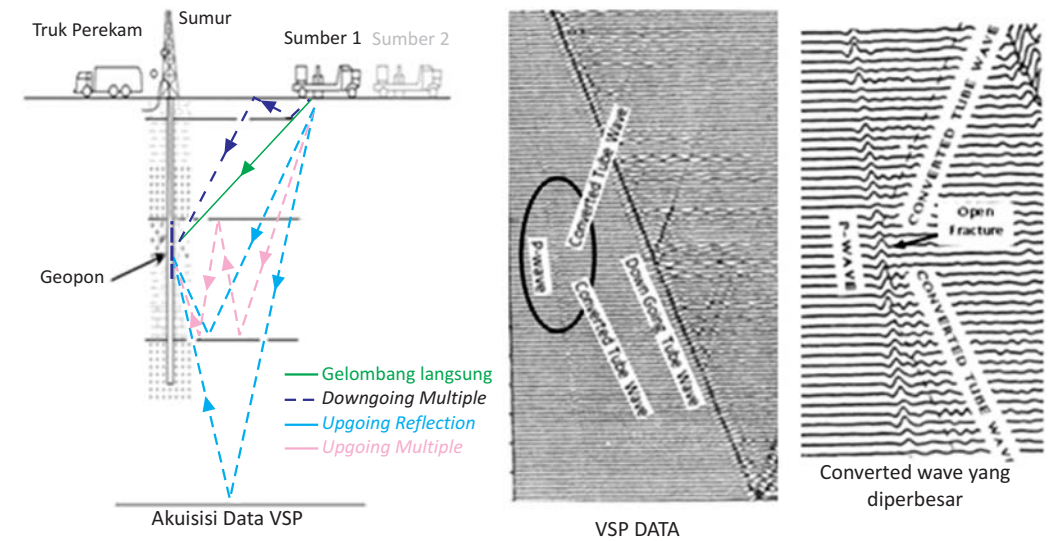
Bersama mahasiswa S3, penulis saat ini melakukan studi dengan *crosshole seismic* dengan menggunakan sumur dalam untuk mencari metode terbaik untuk memetakan geometri struktur dan estimasi sifat fisik batuan dan fluida di suatu lapangan minyak.

## 6. PERAN TEKNOLOGI SEISMIC DI MASA MENDATANG

Sehubungan dengan semakin menipisnya cadangan energi dan makin sulitnya untuk menemukan cadangan baru migas, khususnya di Indonesia, maka:



1. Selain diperlukan konsep-konsep baru dalam paradigma eksplorasi dari sudut pandang geologi, diperlukan inovasi baru dalam teknologi seismik untuk memberikan citra bawah permukaan yang lebih baik dengan resolusi tinggi, dan juga dituntut untuk dapat memberikan informasi yang lebih akurat dalam hubungannya dengan estimasi sifat-sifat fisika batuan.
2. Dalam hal karakterisasi reservoir, metode seismik akan lebih banyak berperan dalam usaha memahami struktur mikro dalam reservoir yang menyangkut rekahan (*fracture*), porositas, permeabilitas, dan kandungan fluida. Dalam hal *Reservoir Monitoring* dan *EOR ( Enhance Oil Recovery)*, maka penggunaan seismik 4D dan geopon tiga komponen (3C) akan meningkat peranannya dimasa mendatang. Pemetaan rekahan batuan dengan menggunakan data seismik 3D selama ini dilakukan dengan teknik menggunakan atribut seismik , seperti atribut variansi, koherensi, *Ant-Tracks*, dan sebagainya. Dengan menggunakan atribut-atribut tersebut, masih mengandung kelemahan disebabkan keterbatasan dari resolusi seismik. Eksperimen menggunakan teknik pengukuran dengan *Vertical Seismic Profiling - geopon 3C* pada batuan beku dan metamorf yang mengalami banyak rekahan menunjukkan bahwa rekahan terbuka dapat menyebabkan konversi dari gelombang P menjadi gelombang tabung (Priyono, 1991). Penelitian dalam masalah ini dapat dikembangkan lebih lanjut.



**Gambar 15.** Deteksi rekahan terbuka dari konversi gelombang.

3. Mengingat eksplorasi sampai saat ini banyak dilakukan di darat dan di laut dangkal, maka kedepan eksplorasi akan banyak menuju daerah laut dalam, sehingga kegagalan pemboran harus menanggung resiko biaya yang sangat tinggi. Daerah-daerah dimana morfologi dasar laut sangat terjal pada keadaan geologi yang kompleks akan diperoleh respon seismik yang kompleks pula. Untuk mengurangi resiko tersebut maka metode seismik akan dituntut adanya inovasi-inovasi baru dalam akuisisi, pengolahan, dan analisis data dan interpretasi.
4. Sejalan dengan semakin menipisnya cadangan migas, penelitian kedepan dalam bidang seismik akan berorientasi pada usaha untuk menemukan dan mengembangkan jenis energi *unconventional*, seperti

*coal bed methane, gas shale, gas hydrate, geothermal* dan sebagainya. Dari segi potensi, Indonesia memiliki total potensi cadangan CBM sebesar kurang lebih 453.3 TCF *in place* dari 11 cekungan yang tersebar di Indonesia, khususnya di pulau Sumatra dan Kalimantan. Sedangkan potensi *shale gas* terdapat di 7 cekungan di Indonesia, yang tersebar terutama di pulau Sumatra, Kalimantan, dan Jawa. Potensi cadangan *shale gas* yang telah diidentifikasi di beberapa cekungan di Indonesia adalah sekitar 574 TCF *in place*, lebih besar dibandingkan dengan CBM sekitar 453,3 TSCF dan gas bumi dari cadangan konvensional sekitar 334,5 TCF (Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral). Dalam eksplorasi dan eksploitasi sumber energi ini, metode seismik memegang peranan yang sangat penting pada saat ini maupun dimasa yang akan datang. Dalam hubungannya dengan masalah diatas, penulis dengan beberapa mahasiswa S2 dan S3 meneruskan penelitian dalam usaha deteksi hidrokarbon dan karakterisasi reservoir, dan juga melakukan penelitian dalam dalam eksplorasi dan eksploitasi sumber energi *unconventional* tersebut.

5. Selain dituntut perannya dalam eksplorasi sumber daya energi yang telah diuraikan diatas, tantangan kedepan adalah peran serta dalam masalah lingkungan. Sehubungan dengan masalah ini, maka sejak akhir tahun 2012 yang lalu penulis ikut terlibat penelitian dalam *Pilot Project Carbon Sequestration* di Lapangan Gundih. Penelitian ini merupakan kerjasama antara ITB – Pertamina dengan Kyoto

University yang disponsori oleh JICA (*Japan International Cooperation Agency*) and JST (*Japan Science and Technology Agency*). Penelitian ini dari pihak ITB diinisiasi oleh Prof. Dr. Djoko Santoso dan Prof. Dr. Wawan Gunawan pada tahun 2010. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari tempat penyimpanan (*storage*) gas CO<sub>2</sub> yang aman dari aspek struktur untuk menghindari kebocoran dan mencari reservoir terbaik dari lapisan bawah permukaan, kemudian melakukan monitoring selama penyimpanan gas tersebut dengan menggunakan metode-metode geofisika, termasuk metode seismik.

## 7. PENUTUP

Metode seismik merupakan metode geofisika yang telah memberikan kontribusi yang sangat signifikan dalam usaha pemetaan bawah permukaan baik dalam menentukan bentuk-bentuk struktural, stratigrafis maupun dalam estimasi sifat fisika dan fluida dalam batuan. Tidak diragukan lagi bahwa metode seismik telah memberikan andil yang besar untuk mendukung keberhasilan dalam menentukan titik pemboran dalam eksplorasi migas. Walaupun demikian disebabkan bentuk jebakan struktural dimasa mendatang makin lama makin sulit ditemukan, maka metode seismik akan lebih berperan dalam hal pemetaan stratigrafis, *fracture reservoir*, dan bentuk-bentuk *play* lainnya di Indonesia. Demikian pula dalam usaha karakterisasi reservoir perlu adanya inovasi-inovasi

baru. Semakin menipisnya cadangan migas konvensional dan makin intensifnya eksplorasi dan eksploitasi energi *unconventional* dimasa mendatang, seperti CBM, *shale gas*, *gas hydrate*, dan jenis sumber energi lainnya dalam bumi, maka banyak penelitian yang dapat dikembangkan dalam bidang seismik untuk menjawab tantangan tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K. and Richards P.G., Quantitative Seismology, Theory and Methods, Vol. I, II, San Francisco; Freeman.
- Bell, R., McNeill, L., Bull, J., and Henstock, T., 2011, Fault Development and Syn-Rift Basin Structure Within The Corinth Rift, Greece : AAPG annual Convention, Houston, Texas, USA.
- Bois, P., La Porte, M., Lavergne, M., and Thomas, G., 1972, Well-to-well Seismic Measurement, *Geophysics*, 37, 471-480.
- Biot, M.A., 1956, Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. Part I & II, *J. Acous.Soc. Ann*, 28, 168-191.
- Brown, R.J., Lawton, D.C., and Cheadle, S.P., 1991, Scaled Physical Modelling of Anisotropic Wave Propagation: Multioffset Profiles Over an Orthorhombic Medium: *Geophys. J. Internat.*, 107, 693-702.
- Connolly, P., 1999, Elastic Impedance: The Leading Edge, 18, 438-452.
- Gassmann, F., 1951, Elastic Waves Through a Packing of Spheres:

*Geophysics*, 16, 673-685.

- Grand, S.P., R.D. van der Hilst, and Widiyantoro, S., 1997, Global Seismic Tomography: A snapshot of Convection in the Earth, *GSA Today*, 7, 1-7.
- Jackson, D.D. and Anderson, D.L., 1970, Physical Mechanics of Seismic Wave Attenuation: *Rev. Geophys. Space Phys.*, 8, 1-63.
- Goodway, B., Chen, T., and Downton, J., 1997, Improved AVO Fluid Detection and Lithology Discrimination Using Lamé Petrophysical Parameters, "lambda-rho", "mhu-rho" and lambda-rho fluid stack, from P and S Inversion: *CSEG Expanded Abstracts*, 148-151.
- O'Connell and Budiansky, 1978, Measures of Dissipation in Viscoelastic Media, *Geophys.res. Lett.* 5, 5-8, 1978.
- Ostrander, W.J., 1984, Plane-wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence: *Geophysics*, v. 49, p. 1637-1648.
- Mavkov, G.M. and Nur, A., 1979, Wave Attenuation in Partially Saturated Rocks, *Geophysics*, 44, 161-178, 1979.
- Priyono, A., Suantika, G., Widiyantoro, S., Priadi, B., and Surono, 2011, Three-dimensional P- and S-wave Velocity Structures of Mt. Guntur, West-Java, Indonesia, from Seismic Tomography, *Internasional Journal of Tomography & Statistics*, Vol.16, No: W11, ISSN 0972-9976 (Print), ISSN 0973-7294.
- Priyono, A., Suantika, G., Widiyantoro, S., and Nugraha, A.D., 2011, Three-



Dimensional Seismic Attenuation Structure of Mt. Guntur, West Java, Indonesia, *International Journal of Tomography & Statistics*, Vol 17, Number S1, ISSN 0973-7294.

Priyono, A., 1999, Metode Seismik Dalam Usaha Pengembangan Minyak dan Gas Bumi, Aplikasi Metode Tomografi, *Jurnal Matematika dan Sains*, Vol.4, No:3.

Priyono, A., 1991, Application of Tube Waves in Detecting Fractures and Estimation of Physical Properties of Rocks at Near the Borehole Wall, *Proceeding of Internasional Seminar on Geodinamics in Conjunction with the Sixteenth Annual Convention in the Indonesia Association of Geophysicist*.

Knott, C.G., 1899, Reflexion and Refraction of Elastic Waves with Seismological Applications: *Phil. Mag.*, 48, 64-97.

Koefoed, O., 1955, On the effect of Poisson's ratios of Rock Strata on the Reflection Coefficients of Plane Waves: *Geophys. Prosp.*, 3, 381-387.

Schlumberger, 1999, *Recent Advances In Acquisition Technology*.

Shuey, R.T., 1985, A Simplification of the Zoeppritz Equations: *Geophysics*, 50, 609-614.

Thomsen, L., 2002, *Understanding Seismic Anisotropy in Exploration and exploitation*, EAGE & SEG.

Vail, P.R., Mitchum, Jr., Todd, J.M., Wiedmier, J.M., Thomson, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N, Hatlelid, W.G., *Seismic Stratigraphy and Global*

Change of Sea Level, in *Seismic Stratigraphy Application to Hydrocarbon Exploration*, Payton, C.E., ed.: AAPG Mem. 26, Tulsa, Okla, 1977.

Whitcombe, D.N., 2002, *Elastic Impedance Normalization: Geophysics*, 67, 60-62.

White, J.E., 1975, *Computed Seismic Speeds and Attenuation in Rocks with Partial Gas Saturation*, *Geophysics*, 40, 224-232.

Winkler, K. and Nur, A. ,1979, *Pore Fluids and Seismic Attenuation in Rocks*, *Geophys. Res. Lett.*, 6:1-4.

Widiyantoro, S., B. L. N. Kennett, and R. D. van der Hilst, 1998, *Extending Shear-wave Tomography for the Lower Mantle Using S and SKS Arrival-Time Data*, *Earth Planets Space*, 50, 999-1012.

Wyllie et al., 1962, *Studies of Elastic Wave Attenuation in Porous Media*, *Geophysics* 27, pp. 569-589.

Yamamoto, T., 1983, *Propagator Matrix for Continuesly Layered Porous Seabed*, *B.S.S*, 73, 1599-1620.

Zoeppritz, K., 1919, *Erdbebenwellen VIII B, Uber Reflexion and Durchgang Seismischer Wellen durch Unstetigkeitsflachen*, *Gottinger Nachr.* 1, pp. 66-84.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis panjatkan Puji Syukur kepada Allah SWT atas karuniaNya sehingga penulis memperoleh kepercayaan memangku jabatan akademik Guru Besar dalam bidang Seismologi Eksplorasi terhitung tanggal 1 Oktober 2012.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ketua, Sekretaris, dan seluruh anggota Majelis Guru Besar ITB yang telah memberikan kehormatan dan kesempatan kepada penulis untuk menyampaikan pidato ilmiah dihadapan rapat pleno yang terhormat. Ucapan terima kasih penulis sampaikan pada Prof. Dr. Sri Widyanoro, Dekan Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan yang telah memberikan dorongan, semangat dan sekaligus memberikan rekomendasi untuk memperoleh jabatan Guru Besar di ITB. Rekomendasi juga telah diberikan oleh Prof. R.P. Kusumadinata, Prof. Sudarto Notosiswoyo, Prof. Nanang T. Puspito, Prof. Satria Bijaksana dan Prof. Umar Fauzi, untuk itu dengan tulus penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang tinggi.

Penghargaan dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada para guru dan dosen yang telah memberikan pendidikan dan bimbingan yang baik, sehingga penulis dapat mengikuti pendidikan lanjut. Terima kasih penulis ucapkan kepada para dosen pembimbing, yaitu: Drs. Arjuno Brojonegoro Msc sebagai pembimbing Tugas Akhir Sarjana di ITB, Prof. R. Meissner sebagai pembimbing program Doktor di Universitas Kiel Jerman

yang telah memberikan ilmu dalam bidang seismik dan mengajarkan kemandirian dan kerja keras.

Terima kasih dan penghargaan yang tinggi penulis ucapkan kepada para senior penulis dari ex Jurusan Geofika dan Meteorologi yaitu Prof. Susilo Prawiro Wardoyo (alm.), Drs. Sunaryo Msc., Prof. Bayong Tjasyono, Prof. Safwan Hadi, Drs. Untoro, Dr. Dadang Kurniadi Miharja, Dr. Sri Hartati Sunarmo dan Drs. Muhamad Ahmad atas ilmu yang diberikan dan bimbingannya.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Satria Bijaksana, Dr. Darharta, Dr. Gunawan Ibrahim, Prof. Wawan Gunawan A. Kadir, Dr. Hendra Grandis, Dr. T.A. Sanny, Prof. Sigit Sukmono, Dr. Agus Laesanpura, Dr. Sonny Winardi, Dr. Wahyu Triyoso, Dr. Afnimar, Dr. Fatkhan, Dr. Alfian, Dr. Rahmat Sule dan Dr.rer.nat Wahyudi P., Dr. Andri D. Nugraha dan seluruh kolega dan karyawan di KK Geofisika Global dan KK Geofisika Terapan, Program Studi Teknik Geofisika atas kerjasamanya selama ini dalam suasana kebersamaan, keakraban dan kenyamanan dalam menjalani tugas.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis ucapkan kepada: (1) kedua orang tua penulis, Bapak H. Jaeroni Ahmad Satrosugito (almarhum) dan Ibu Hj. Muryati (almarhumah) yang telah mendidik dan membesarkan dengan penuh kasih sayang, (2) istri dan anak-anak tersayang yang telah memberikan kedamaian dan kehangatan dalam keluarga, (3) adik-adik dan seluruh keluarga besar yang telah

memberikan semangat dan doa restu yang diberikan.

Semoga Allah SWT selalu memberi kekuatan dan perlindungan pada kita semua.

## CURRICULUM VITAE



Nama : **AWALI PRIYONO**

Tmpt./Tgl Lahir : Boyolali, 7 September 1956

Nama Isteri : Rithma Yanitha, SH., MKn.

Nama Anak : Anggita Saraswati

Santika Prameswari

Nakula Luhur Pambudi

Pekerti Luhur Sadewa

Alamat Kantor : KK Geofisika Global,  
Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan  
(FTTM), Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesa 10, Bandung, 40132.

### RIWAYAT PENDIDIKAN

- 1984 - 1988 : Doktor Geofisika, University of Kiel, Jerman
- 1976 - 1980 : Sarjana Geofisika, Institut Teknologi Bandung

### RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- 1 Oktober 2012 : Guru Besar bidang Seismologi Eksplorasi, FTTM - ITB
- 1 Januari 2001 : Lektor Kepala, FIKTM - ITB
- 1 Januari 2000 : Lektor, FIKTM - ITB
- 1 Desember 1994 : Lektor Madya, FMIPA - ITB
- 1 September 1989 : Lektor Muda, FMIPA - ITB
- 1 Januari 1983 : Asisten Ahli, FMIPA - ITB

- 1 Januari 1981 : Asisten Ahli Madya, FMIPA -ITB

#### RIWAYAT PENUGASAN DI LINGKUNGAN ITB

- 2012 - skrg : Ketua Program Studi Magister dan Doktor Teknik Geofisika, FTTM - ITB
- 2011 - 2012 : Tim Auditor bidang Akademik Satuan Pengawas Internal Institut Teknologi Bandung
- 2007 - 2011 : Ketua Laboratorium Geofisika Dekat Permukaan
- 2002 - 2004 : Pembantu Dekan Akademik FIKTM - ITB
- 1995 - 1998 : Ketua Jurusan Geofisika & Meteorologi, FMIPA - ITB
- 1994 - 2006 : Ketua Laboratorium Seismik
- 1989 - 1993 : Ketua Kelompok Bidang Keahlian (KBK) Geofisika

#### PENGHARGAAN

- Pigam Penghargaan Yayasan Pembina Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika ITB (1981)
- Piagam Penghargaan dan Lencana Pengabdian 25 tahun ITB bagi Tenaga Akademik dan Tenaga Non Akademik dari ITB (2006).
- Satyalencana Karya Satya XX Tahun dai Pemerintah Republik Indonesia (2008).

#### REKAMAN KARYA ILMIAH

##### • Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional dan Nasional

1. Supriyono, **Priyono**, A. Triyoso, W. and Mardiyani, 2013, Velocity Versus Offset (VVO) Estimation Using Local Event Correlation and Its Application in Seismic Processing & Analysis, ITB Journal (Accepted).
2. Supriyono, **Priyono**, A., Triyoso, W. and Prasetya, L., 2012, Velocity Versus Offset (VVO), A New Tool for Direct Detection of Gas in Low-impedance Sand Reservoir, First Break, Volume 30.
3. **Priyono**, A., Suantika, G., Widiyantoro, S., Priadi, B. and Surono, 2011, Three-dimensional P- and S-wave Velocity Structures of Mt. Guntur, West-Java, Indonesia, from Seismic Tomography, Internasional Journal of Tomography & Statistics, Vol.16, No: W11, ISSN 0972-9976, ISSN 0973-7294.
4. **Priyono**, A., Suantika, G., Widiyantoro, S. and Nugraha, A.N., 2011, Three-Dimensional Seismic Attenuation Structure of Mt. Guntur, West Java, Indonesia, International Journal of Tomography & Statistics, Vol 17, Number S1, ISSN 0973-7294.
5. **Priyono**, A., 2008, Cara Menghindari Pitfalls Dalam Pengolahan Data Seismik Yang Disebabkan Oleh Pengaruh Multipel : Studi Kasus, Jurnal Teknologi Mineral, Vol. XV No. 4.
6. **Priyono**, A., Fatkhan dan Puspita, I., 2008, Pengaruh Pemfilteran Terhadap Preserve Amplitude dalam Pengolahan Data Seismik, Jurnal Teknologi Mineral, Vol. XV No. 4.
7. **Priyono**, A., Suantika, G. dan Widiyantoro, S., 2010, Perbandingan Hasil Atenuasi Tomografi 3D menggunakan Metoda Spectral

Fitting & Spectral Ratio Dalam Usaha Pemetaan Bawah Permukaan Studi Kasus Gunung Guntur, Jurnal Matematika dan Sains, Vol.15.

8. Supriyono, Triyoso, W., **Priyono, A.** dan Mardiyani, H.,2010, Velocity Variation with Angle, an Alternative Tool for Direct Hydrocarbon Indicator : Modelling Study in Bintun Bay Papua, Jurnal Geofisika, ISSN : 0854-4352.
  9. **Priyono, A.**, 2001, Penekanan Multipel Periode Panjang Menggunakan Dekomposisi Nilai Singular, Jurnal Teknologi Mineral, ISSN:0854-8528, Vol8.
  10. **Priyono, A.**, 2000, Metoda Seismik Dalam Usaha Pendeteksian Reservoir Minyak dan Gas Bumi, Jurnal Matematika dan Sains, Vol.5, No.1.
  11. **Priyono, A.**, 1999, Metoda Seismik Dalam Usaha Pengembangan Minyak dan Gas Bumi, Aplikasi Metoda Tomografi, Jurnal Matematika dan Sains, Vol.4, No: 3.
  12. Untoro, **Awali, A.**, 1999, Model Eksperimen Pengukuran Obyek Permukaan Menggunakan Metoda Georadar, Jurnal Teknologi Mineral, ISSN : 0854-8528, Vol. VI.
  13. **Priyono, A.** and Widiyantoro, S, 1999, A Possible Application of Seismic Tomography for Mining Purposes, Indonesian Mining Journal, Vol. 5, ISSN 0854-9931.
- **Publikasi Ilmiah Prosiding Internasional dan Nasional**
    1. Guntara, A.D., **Priyono, A.**, Sanny, T.A.,2012, Santoso, D., Offset Aperture Optimization of 2D Seismic Partial CRS Stack on Angle

Segment by the AVO Gradient, Internasional Geophysical Conference and Oil \$ Gas Exhibition, Istanbul, Turkey.

2. Budiman, A., **Priyono, A.**, Samodra, A., Mu'in, F. and Latuconsina, M.,2012, Integrated Structural Modeling & Seismic Attributes Analysis for Fractured Basement Reservoir Identification in Pangea Block, South Sumatra Basin, Internasional Petroleum Technology Conference, Internasional Petroleum Technology, Bangkok, Thailand.
3. **Priyono, A.** and Fatkhan,2011, Common Reflection Surface (CRS): Imaging and AVO Analysis, Proceeding of the 10<sup>th</sup> SEGJ Internasional Symposium–Imaging and Interpretation, Kyoto, Japan.
4. Guntara, A.D., **Priyono, A.** and Santoso, D.,2011, Partial CRS stack seismic data characterisation on AVO anomaly: case study on 2D synthetic seismic data, Proceeding of the 10<sup>th</sup> SEGJ Internasional Symposium-Imaging and Interpretation, Kyoto, Japan.
5. Guntara, A.D., Muttaqin, K., dan **Priyono, A.**, 2011, Koreksi Statik Menggunakan Metode Ray-Turning Tomography dan Tomostatic: Studi Kasus pada Data Seismik 2D Matindok, Proceedings JCM Makasar, The 36<sup>th</sup> HAGI and 40<sup>th</sup> IAGI Annual Convention and Exhibition.
6. **Priyono, A.**, Guntara, A.D. dan Widiyatmoko, A., 2011, Perbandingan Respon AVO dari Hasil Proses Pengolahan Data Seismik Konvensional dan Common Reflection Surface (CRS), Proceedings of The 36<sup>th</sup> HAGI and 40<sup>th</sup> IAGI Annual Convention and Exhibition, Makassar.
7. Budiman, **A., Priyono, A.**, Samodra,A., Mu'in, F. dan Latuconsina,



- M., 2011, Fractures Related Fault Analysis for Basement Reservoir Identification in Pangea Block, South Sumatera Basin. Proceedings JCM Makasar, The 36<sup>th</sup> HAGI and 40<sup>th</sup> IAGI Annual Convention and Exhibition, Makasar.
8. Kesumajana, A.H.P, Noeraji, D., Sapiie, B., **Priyono, A.**, 2010, The Role of Hydrocarbon Maturation Modelling, A Case Study : South Sumatera Basin, Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Thirty-Fourth Annual IPA Convention & Exhibition, Jakarta.
  9. Widyantoro, S., **Priyono, A.**, Suantika,,G.,2007, New Information from Seismic Attenuation Tomography, Proceedings of The 32<sup>th</sup> HAGI and 40<sup>th</sup> IAGI Annual Convention and Exhibition, Bali.
  10. Nuradi, D., Subroto, E., **Priyono, A.**, H.E. Wahono, E. Hermanto and M. Syaifuddin 2007, A Preliminary Study on Paleogene and Neogene Source Rocks in the Frontier Offshore South Makasar Basin, Proceeding AAPG International Conference and Exhibition, Kunming, China.
  11. Subroto, E.A., Noeradi, D., **Priyono, A.**, Handoyo E. Wahono, Eddy Hermanto, Praptisih, and Santoso, K., 2007, The Paleogene Basin within the Kendeng Zone, Central Java Island, and Implications to Hydrocarbon Prospectivity". Indonesian Petroleum Association, Proceedings of Thirty-First Annual Convention, Jakarta.
  12. Subroto, E, Nuradi, D., **Priyono, A.**, H.E. Wahono, E. Hermanto, 2007, Evolution of Carbonate Reservoir and Hydrocarbon Prospectivity in South Makasar Basin, Indonesia, Proceeding AAPG International Conference and Exhibition, Athens, Greece.
  13. Sutopo, **Priyono, A.**, 2004, Studi Faktor Kualitas (Q-Faktor) dari

Gelombang Elastik (Qp, Qsh) pada Batuan Kompak dan Tidak Kompak, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (PIT HAGI) ke XXIX, Yogyakarta.

14. Purwanti, A., **Priyono, A.**, 2003, Application of P- and SH-Wave Travel Time Tomography to Near Surface Anomaly Mapping, Proceedings of Joint Convention Jakarta, The 32<sup>nd</sup> IAGI and the 28<sup>th</sup>, HAGI Annual Convention and Exhibition, Jakarta.
15. Sutopo, **Priyono, A.**,2003, Study of P- and SH-wave Characteristics in the Saturation Zone Using Shallow Refraction Seismic Data, Proceedings of Joint Convention Jakarta, The 32<sup>nd</sup> IAGI and the 28<sup>th</sup>, HAGI Annual Convention and Exhibition, Jakarta.
16. Rusnandar, D, **Priyono, A.**,2000, Influence of Damping Parameter in the Amplitude Correction at the Method of Amplitude Versus Offset (AVO), Proceeding HAGI, the 25<sup>th</sup> Annual Convention, Bandung.
17. **Priyono, A.**, 1995, Singular Value Decomposition Technique to Improve the Seismic Quality Data and Modeling, Symposium Papers III, Basic Research in Exploration and Production, Pertamina.
18. **Priyono, A.**, 1994, Estimation of Rock Permeability Using Converted Tube Wave, Proceedings the Nineteenth Annual Convention of Indonesia Association of Geophysics, Bandung.
19. Widiyantoro, **Priyono, A.**, 1993, Exploration of Shallow Subsurface structure by the CDP profiling method and TAU – P Inversion Technique", Proceeding HAGI, the 18<sup>th</sup> Annual Convention, Jakarta.



20. Adriansyah, **Priyono, A.**, 1993, Application of Linier Programming for High Resolution Seismic”, Proceeding HAGI, the 18<sup>th</sup> Annual Convention, Jakarta.
21. **Priyono, A.**, 1991, Application of Seismic Modeling in the Hydrocarbon Exploration”, Seminar and Workshop HAGI–ITB.
22. **Priyono, A.**, 1991, Application of Tube Waves in Detecting Fractures and Estimation of Physical Properties of Rocks at Near the Borehole Wall, Proceeding of Internasional Seminar on Geodynamics in Conjunction with the Sixteenth Annual Convention in the Indonesia Association of Geophysicist.

#### HIBAH PENELITIAN

1. **Priyono, A.**, Fatkhan, Sule, R., Penggunaan Seismik Inversi dan Seismik Attribute Untuk Menentukan Kualitas Reservoir Pembuangan Gas CO2 Lapangan Gundih, Jawa Timur, Riset Desentralisasi, DIKTI, 2013.
2. Fakhan, Rahmat, S., **Priyono, A.** dkk., Aplikasi dan pengembangan Metoda CRS-Depth dan Tomodepth Dalam Eksplorasi Migas di Daerah Geologi Komplek, Kerjasama Riset antara ITB dan Pertamina UTC, 2011-2014.
3. Kadir, W.G., Sule, R, **Priyono, A.**, Widiyanto, E., Ariaaji, T. dkk, Pilot Study of Carbon Sequestration in Gundih Field, Central Java Province, Indonesia, SATREPS Program, funded by JICA & JSI Japan, Cooperation between ITB, Kyoto University and Pertamina, 2012-2017.
4. Widiyantoro, S., **Priyono, A.**, Wandono, Nugroho, H. and Haikal, M.: Four-dimensional Tomography for the 2004 Sumatra-

- Andaman Earthquake: Understanding Fault Structure and Earthquake Hazards, Internasional Research Grant ITB, 2008
5. **Priyono, A.**, Wibowo, U, Studi Geometri dan Sifat Fisik Batuan Bawah Permukaan Menggunakan Gelombang P dan S, serta Aplikasinya Dalam Masalah Geoteknik dan Lingkungan; Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, 2002-2003.
6. Hendrajaya, L., Santoso, D., **Priyono A.** dkk., Pengembangan Metoda dan Software Seismik Untuk Eksplorasi Minyak dan Gas Bumi, Pertamina Research Grand, 1994-1996.
7. Afnimar, **Priyono, A.**, Perbaikan Inversi Seismik Menggunakan *Random Noise Filtering* dan *Wavelet Supression*, OPF – ITB, 1996 /1997.
8. Afnimar, **Priyono, A.**, Pemodelan Seismik Refleksi Pada Medium Heterogen, OPF – ITB, 1995/1996.
9. **Priyono, A.**, Penggunaan Gelombang Tabung Untuk Identifikasi Litologi Pada Sumur Eksplorasi, SPP-DPPITB, 1994/1995.
10. Suryadi, **Priyono, A.** “Ray Tracing dan Respon Gelombang P Pada Bumi Heterogen, SPP-DPPITB, 1992/1993.
11. **Priyono, A.**, Pemodelan Seismik Untuk Eksplorasi Hidrokarbon, SPP-DPPITB, 1991/1992.

