

## Identifikasi Reservoir Batu Pasir Tersaturasi Minyak Menggunakan Analisa Frekuensi Rendah Berbasis CWT dan AVO

Sudarmaji dan Budi Eka Nurcahya

Lab. Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Po. Box Bls 21  
Yogyakarta 55281, Fax: +62-0274-545185, Telp: +62-0274-522214,  
E-mail: ajisaroji@gmail.com; budiekanurcahya@yahoo.com,

### Intisari

Identifikasi reservoir batu pasir tersaturasi minyak dilaksanakan dengan menggunakan analisa frekuensi rendah (*low frequency*) dan *Amplitude Versus Offset (AVO)*. Analisa frekuensi rendah dilaksanakan terhadap data seismik 3D dan 2D PSTM *gather* dengan menggunakan metode transformasi wavelet kontinyu (*continuous wavelet transform* atau CWT) pada frekuensi sekitar 15 Hz. Analisa frekuensi rendah dilaksanakan dengan menghitung atribut seismik amplitudo *gradient* waktu-frekuensi sesaat di sekitar 15 Hz untuk mendeteksi keberadaan *diffusive wave* pada seismik pantul. *Diffusive wave* merupakan gelombang yang muncul karena pergerakan fluida dalam batuan berpori, khususnya fluida hidrokarbon dengan viskositas dan permeabilitas tertentu. Sementara analisa AVO dilaksanakan untuk mendeteksi karakter impedansi reservoir batu pasir yang terkait dengan porositas batuan. Analisa AVO dilaksanakan dengan menghitung *gradient\*intercept* dan mengamati kurva reflektivitas gelombang seismik sebagai fungsi offset. Nilai *gradient\*intercept* positif dan kurva reflektivitas gelombang seismik sebagai fungsi offset naik dapat diidentifikasi sebagai AVO kelas III dan berkorelasi dengan reservoir batu pasir *low impedance* dan memiliki porositas yang bagus.

*Kata Kunci : reservoir, batupasir, transformasi wavelet kontinyu (CWT), diffusive wave, amplitudo versus offset (AVO), gradient, intercept*

### Abstract

Identification of sandstone reservoir saturated by oil has been conducted by mean low frequency and amplitude versus offset (AVO) analysis. Low Frequency analysis has been conducted for 3D and 2D seismic data of PSTM *gather* using continuous wavelet transform (CWT) around 15hz. Low frequency analysis was done by calculating the attribute *gradient* time-frequency of the instantaneous amplitude using continuous wavelet transform (CWT) around 15 Hz for detecting the existing *diffusive wave* from reflection seismic. *Diffusive wave* is a wave that appears due to fluid movement in porous rock, especially fluid of hydrocarbon with certain viscosity and permeability. While amplitude versus offset (AVO) analysis was done for detecting the impedance character of sandstone reservoir that related to porous rock. Amplitude versus offset (AVO) analysis was done by calculating *gradient\*intercept* and observing the curve of wave reflectivity as a function of offset. The positive value of *gradient\*intercept* and curve of reflectivity as a function of offset could be identified as AVO class III and correlated with sandstone reservoir with low impedance and good porosity.

*Keyword : reservoir, sandstone, continuous wavelet transform (CWT) , diffusive wave, amplitude versus offset (AVO), gradient, intercept*

## 1. Pendahuluan

Ketika gelombang seismik merambat dan bertemu dengan batas antara media elastik dan media berpori tersaturasi fluida, sebagian energi dari gelombang akan di pantulkan dan sisanya akan ditransmisi dan didisipasi. Sudah cukup diketahui bahwa baik koefisien pantul maupun transmisi gelombang pada medium berpori tersaturasi fluida merupakan fungsi dari frekuensi (Kornev, dkk, 2004; Golosubin, dkk, 2001 dan Golosubin, dkk, 2002). Akhir-akhir ini, sinyal frekuensi rendah telah berhasil digunakan untuk mendapatkan citra resolusi tinggi dari reservoir minyak dan gas, khususnya pada reservoir batu pasir. Hipotesa yang berkembang saat ini untuk menjelaskan relasi antara atribut seismik frekuensi rendah dengan keberadaan reservoir minyak atau gas adalah munculnya gelombang *difussive* pada zona berpori tersaturasi fluida saat ada kompresi dari gelombang seismik yang datang (Silin, dkk, 2004). Oleh karena itu pemahaman perilaku koefisien pantul pada frekuensi rendah dan karakter spektrum seismik sangat penting untuk mengetahui perilaku dan karakter reservoir lebih detail. Pada penelitian ini memaparkan hasil pengamatan terhadap perilaku gelombang sebagai fungsi offset untuk membantu melihat karakter impedansi reservoir yang terkait dengan porositas reservoir.

## 2. Studi Pustaka

### 2.1 Analisa Frekuensi Rendah

Sinyal frekuensi rendah yang dihasilkan dari refleksi seismik pada batuan berpori tersaturasi fluida, dapat dijelaskan dari hasil penyelesaian persamaan poroelastik, gelombang *diffusive*, dan hasil *well test* (Silin, dkk, 2004). Koefisien refleksi gelombang seismik pada batuan elastis berpori tersaturasi fluida besarnya secara proporsional sebanding dengan akar dari perkalian antara frekuensi gelombang seismik dengan mobilitas fluida pada reservoir, yang dinyatakan dalam persamaan,

$$R = R_0 + (1+i) \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\mu}} \omega R_1 \quad (1)$$

dengan  $\omega$  adalah frekuensi gelombang seismik,  $\rho$  densitas batuan,  $\kappa$  permeabilitas batuan dan  $\eta$  viskositas fluida hidrokarbon. Persamaan reflektivitas tersebut dapat dinyatakan dalam,

$$R = \sqrt{\left( R_0 + \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\eta}} \right)^2 + \frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1^2} \left( \cos \left( \arctan \left( \frac{\frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1}{R_0 + \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\eta}}} \right) \right) + i \sin \left( \arctan \left( \frac{\frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1}{R_0 + \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\eta}}} \right) \right) \right) \quad (2)$$

Nilai reflektivitas akan maksimum apabila harga  $\frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1$  mendekati nilai nol. Nilai

$\frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1$  mendekati nol diperoleh apabila  $\omega$  mendekati nol atau dengan kata lain frekuensi gelombang seismik yang rendah. Dalam kasus minyak dan gas frekuensi ini

jatuh di sekitar 15 Hz karena nilai viskositas minyak yang cukup khas (Goloshubin, dkk, 2006).

## 2.2 Analisa Amplitude versus offset

Prinsip dasar metode AVO (*Amplitude Variation with Offset*) adalah menganalisis perubahan amplitudo gelombang pantul terhadap sudut datang (Allen dan Peddy, 1993). *Offset* berhubungan langsung dengan sudut datang gelombang (*angle of incident*) terhadap lapisan pemantul. Jika *offset* makin besar, maka makin besar pula sudut datangnya. Efek kehadiran hidrokarbon dalam medium mengakibatkan adanya anomali AVO tertentu yaitu perubahan berbagai macam amplitudo gelombang P terhadap *offset*.

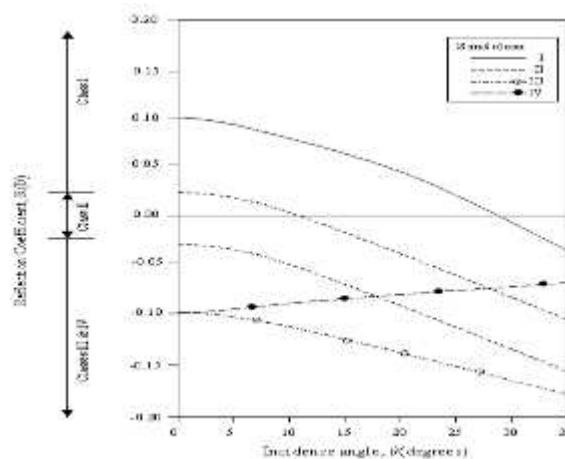
Rutherford dan William (1989) mengategorikan pasir-gas menjadi 3 berdasarkan karakteristik anomali AVO-nya, yaitu :

1. Pasir-gas kelas 1, yaitu pasir gas yang mempunyai impedansi akustik yang lebih besar daripada serpih yang ada di atasnya, dengan koefisien refleksi pada sudut datang nol positif
2. Pasir-gas kelas 2, yaitu pasir gas yang mempunyai impedansi akustik yang hampir sama dengan serpih yang ada di atasnya dan koefisien refleksi sudut datang nol mendekati nol
3. Pasir-gas kelas 3, yaitu pasir gas yang mempunyai impedansi akustik yang lebih rendah daripada serpih yang ada di atasnya dengan koefisien refleksi sudut datang nol negatif.

Ross dan Kinman (1995) dalam Veeken (2007) memodifikasi klasifikasi Rutherford dan William (1989) dengan membagi kelas II menjadi kelas II dan Iip, kemudian Castagna (2003) menambahkan kelas IV sehingga karakteristik reservoir menjadi,

1. Kelas I : Pasir impedansi akustik tinggi
2. Kelas II : Pasir Kontras impedansi mendekati nol
3. Kelas Iip : Pasir Kontras impedansi mendekati nol dengan perubahan polaritas
4. Kelas III : Pasir impedansi rendah
5. Kelas IV : Pasir impedansi sangat rendah.

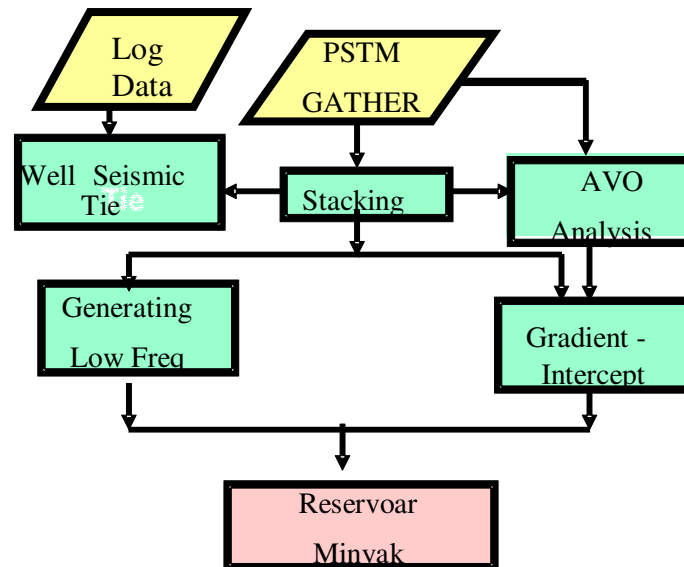
Karakteristik AVO dari masing – masing kelas pasir ditunjukkan pada Gambar 1.



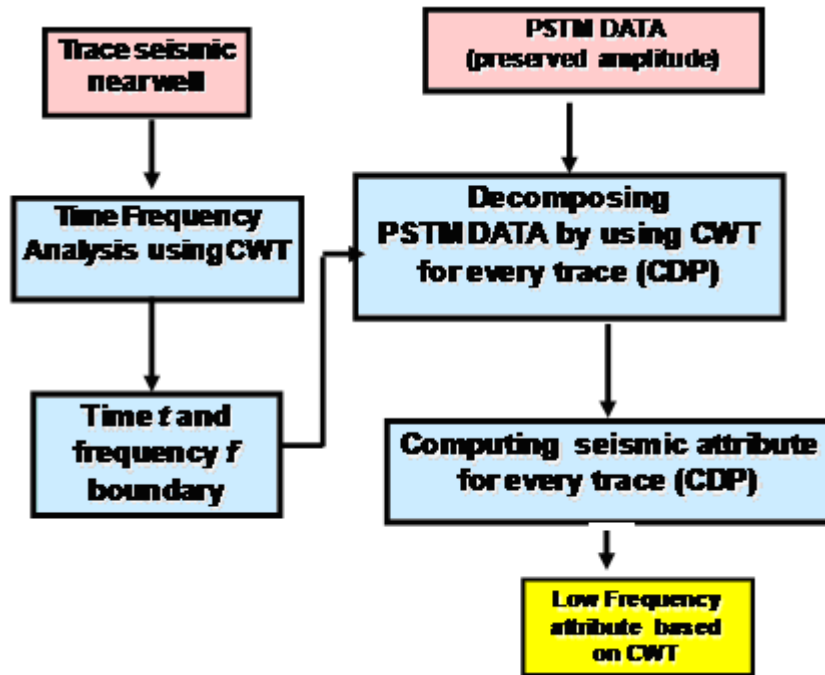
Gambar 1. Kategori pasir berdasarkan karakteristik AVO

### 3. Metode Penelitian

Tahapan identifikasi hidrokarbon dengan menggunakan analisa frekuensi rendah berbasis CWT dan analisa AVO ditunjukkan pada Gambar 2. sementara Gambar 3 menunjukkan Work flow untuk analisa frekuensi rendah berbasis transformasi wavelet kontinyu (CWT) . Masukan untuk studi ini adalah data *PSTM (Prestack Time Migration) Gathers* dan data log (sumur). *Stacking* data PSTM Gathers dilaksanakan untuk mendapatkan data stack yang akan dipakai untuk analisa frekuensi rendah berbasis CWT. *Well-seismic tie* dilaksanakan untuk menempatkan data log pada data seismic . Analisa AVO dilakukan terhadap data PSTM Gather untuk menghasilkan kurva amplitudo versus offset dan penampang gradient\*intercept.



Gambar 2. Tahapan identifikasi hidrokarbon menggunakan analisa frekuensi rendah berbasis CWT dan analisa AVO

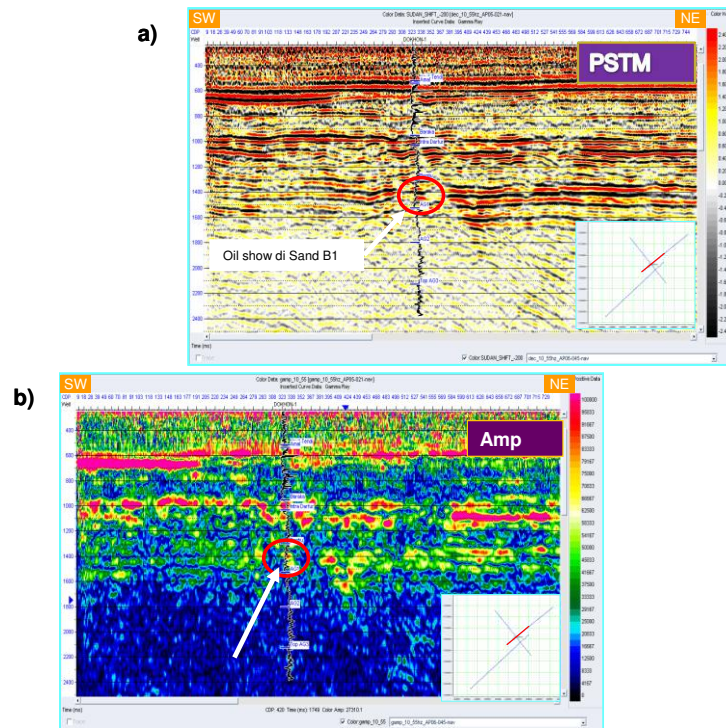


Gambar 3. Work flow untuk analisa frekuensi rendah berbasis transformasi wavelet kontinyu (CWT)

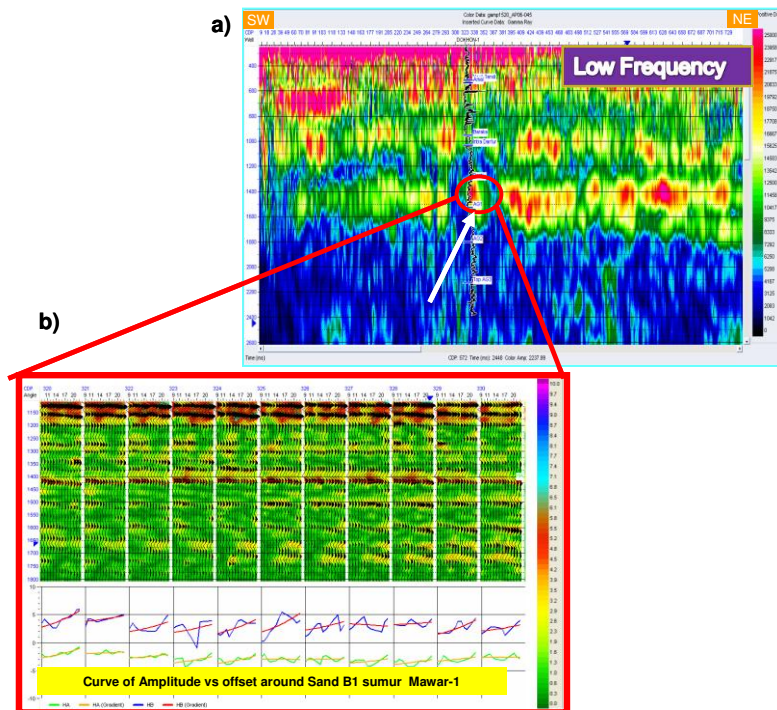
#### 4. Hasil Dan Pembahasan

Studi identifikasi hidrokarbon pada reservoar batu pasir terisi minyak diaplikasikan pada data seismik 2D lapangan alpha, Cekungan Hiba, Sudan. Data awal untuk analisa ini berupa data seismik PSTM Gather 2D dan data log sumur. Analisa ini ditujukan untuk menentukan area prospek hidrokarbon untuk dibor. Validasi awal dilaksanakan dengan mengobservasi karakter atribut seismik frekuensi rendah berbasis CWT dan analisa AVO pada data seismik yang memotong sumur Mawar-1 yang berisi *oil show* pada level *sand B1*. Gambar 4 menunjukkan seismik PSTM 2D dan atribut amplitude sesaat dari lintasan seismik yang melewati sumur Mawar-1, sementara Gambar 5 menunjukkan atribut frekuensi rendah atau amplitude gradient waktu-frekuensi sesaat berbasis CWT dan kurva reflektifitas gelombang seismik sebagai fungsi offset (kurva AVO). Atribut frekuensi rendah berbasis CWT terlihat cukup kuat di kedalaman 1400ms pada posisi *oil show* pada sand B1 sumur Mawar-1, sementara kurva reflektivitasnya naik sebagai fungsi offset sehingga  $\text{gradient} \cdot \text{intercept}$  bernilai positif. Juga terlihat tidak semua *event* seismik *bright* dan atribut amplitudo sesaat tinggi akan memiliki amplitude frekuensi rendah sesaat tinggi.

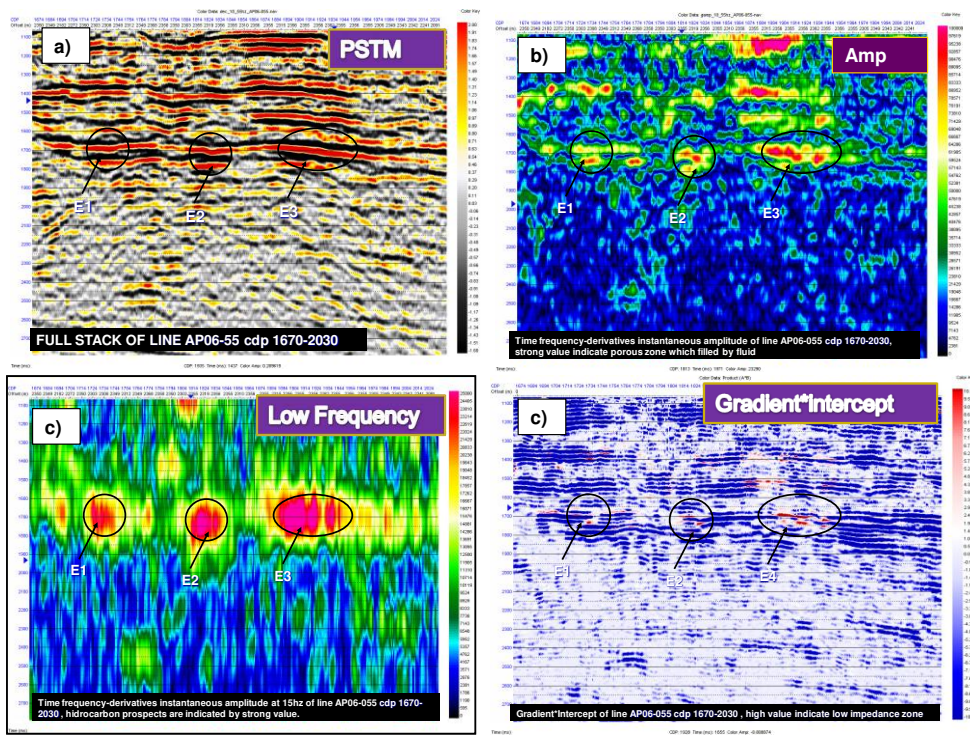
Karakter seismik dengan atribut frekuensi rendah bernilai tinggi,  $\text{gradient} \cdot \text{intercept}$  bernilai positif dan kurva reflektivitas versus offset naik ini dipakai untuk menentukan prospek reservoir minyak pada lintasan seismik yang lain. Gambar 6 dan 7 melukiskan identifikasi reservoir pasir berisi minyak berdasarkan pada karakter atribut frekuensi rendah berbasis CWT dan hasil analisa AVO. Dari analisa atribut seismic frekuensi rendah dan analisa AVO diperoleh 3 prospek yakni E1, E2 dan E3. Hasil pemboran prospek E3 diperoleh *stacking sand* di kedalaman 3160m yang berisi minyak ringan (*light oil*) berdasarkan data *mud log* yang ada (Gambar 16.)



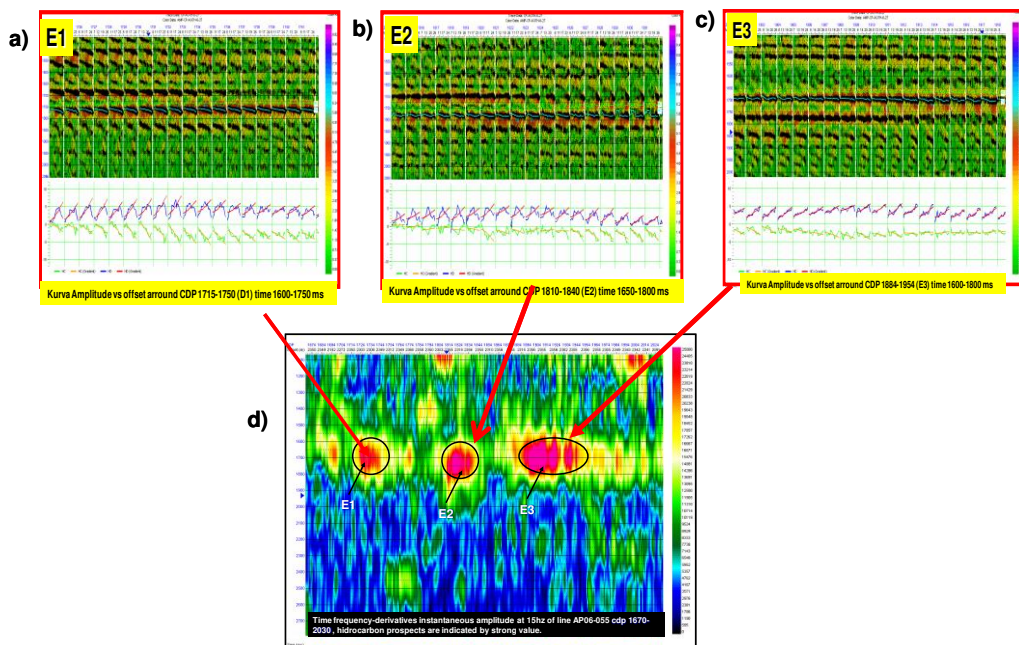
Gambar 4. a) Penampang seismik PSTM 2D dan b) Penampang atribut amplitudo sesaat yang memotong sumur Mawar-1 pada lapangan Alpha.



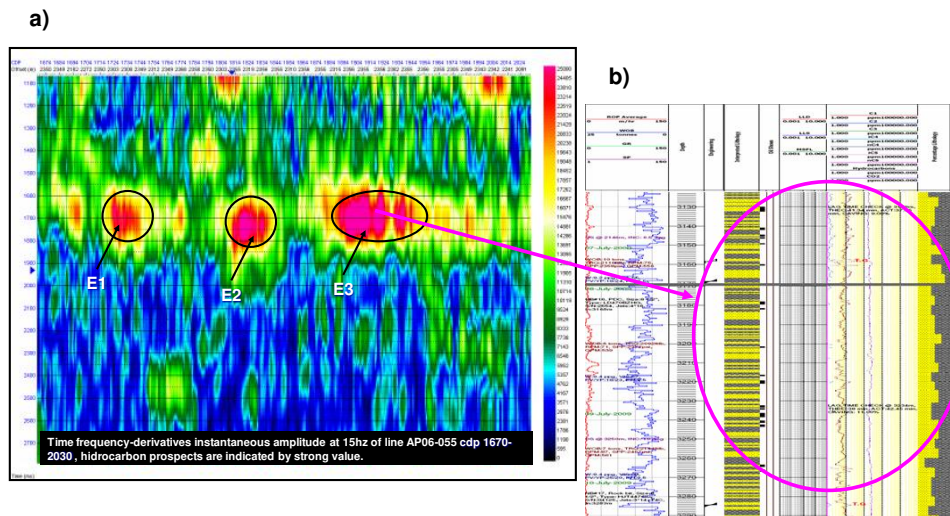
Gambar 5. a) Penampang atribut amplitudo *gradient* waktu-frekuensi sesaat 15hz dan b) kurva amplitudo versus offset (AVO) seputar sumur Mawar-1 yang berisi *oil show*



**Gambar 6.** a) Penampang Seismik PSTM, b) atribut amplitudo sesaat, c) atribut amplitudo gradient waktu-frekuensi 15hz d) atribut gradient\*intercept pada lintasan prospek



**Gambar 7.** a) Kurva amplitudo versus offset (AVO) pada prospek E1, b) Kurva amplitudo versus offset (AVO) pada prospek E2, c) Kurva amplitudo versus offset (AVO) pada prospek E3 dan d) penampang atribut amplitudo gradient waktu-frekuensi 15hz pada lintasan prospek



**Gambar 8.** a) Korelasi antara atribut amplitudo gradient waktu-frekuensi 15hz pada prospek E3 dengan b) data *mud log* yang menunjukkan adanya *stacking sand* tersaturasi *light oil*

## 5. Kesimpulan

1. Identifikasi reservoir batu pasir tersaturasi minyak dapat dilaksanakan dengan menggunakan analisa frekuensi rendah berbasis transformasi wavelet kontinu (*continuous wavelet transform* atau CWT) dan analisa amplitudo versus *offset* (AVO). Analisa dengan menggunakan metode ini telah dipakai untuk penentuan zona prospek reservoir batu pasir tersaturasi minyak di Lapangan Alpha, Cekungan Hiba, Sudan.
2. Analisa frekuensi rendah dapat dilaksanakan dengan menghitung nilai amplitudo *gradient* waktu-frekuensi sesaat (*gamp-15hz*) disekitar lebar pita frekuensi 15hz dengan menggunakan transformasi wavelet kontinyu. Nilai tinggi mengindikasikan adanya akumulasi minyak.
3. Analisa *amplitude versus offset* (AVO) dapat dipakai untuk identifikasi kualitas reservoir minyak. Nilai *gradient\*intercept* positif dan kurva reflektifitas gelombang seismik sebagai fungsi *offset* naik dapat diidentifikasi sebagai AVO kelas III dan berkorelasi dengan reservoir batu pasir *low impedance* dan memiliki porositas yang bagus.

## Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Advanced Petroleum Company (APCO) Ltd., Sudan atas bantuan data dan dana dalam penelitian ini.

## Daftar Pustaka

Allen, J. L., and Peddy, C. P., 1993, *Amplitude Variation with Offset: Gulf Coast Studies*. SEG, p. 8.



- Castagna, J.P., Sun, S., and Siegfried, R.W., 2003, Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons, *The Leading Edge*, p. 120-127.
- Goloshubin, G.,M., Valeri,T.,M., Korneev, V.,A., 2001, "Seismic low-frequency effects in gas reservoir monitoring VSP data", SEG Int'l Exposition and Annual Meeting, San Antonio, Texas, September 9-14.
- Goloshubin, G.M., V.A.Korneev, V.A., and Vingalov, V.M., 2002, Seismic low-frequency effects from oil-saturated reservoir zones, SEG Meeting, Salt Lake City
- Goloshubin, G.,M.,Vanschuyver, C., Korneev, V., Silin, D. and Vingalov, V.,2006 , Reservoir imaging using low frequencies of seismic reflections, *The Leading Edge*, may 2006, p.527-531
- Goloshubin, G.,M., Silin, D., Vingalov, V., Takkand,G., and Latfullin,M., 2008, Reservoir permeability from seismic attribute analysis, *The Leading Edge*, may 2006,
- Korneev, V., A., Goloshubin, G., M., Daley,T.,M.,, and Silin,D.,B., 2004, "Seismic low-frequency effects in monitoring fluid-saturated reservoirs", *Geophysics* **69**; p. 522–532.
- Rutherford, S., and William, R., 1989, Amplitude versus offset variation in gas sands, *Geophysics* **54**, p. 680-688.
- Royle, A., 1999a, Fluid and Lithology Detection Using AVO Analysis , Geo X System LTD.
- Shuey, R. T., 1985, A Simplification Of The Zoeppritz Equations, *Geophysycs* **50**, p. 609-614.
- Silin,D.,B., Korneev,V.,A., Goloshubin,G.,M., and Patzek,T.,W.,2004, Low-Frequency Asymptotic Analysis Of Seismic Reflection From A Fluid-Saturated Medium, Lawrence Berkeley National Laboratory
- Valeri A. Korneev, Gennady M. Goloshubin, Thomas M. Daley, and Dmitry B. Silin, 2004, "Seismic low-frequency effects in monitoring fluid-saturated reservoirs", *Geophysics* **69**; p. 522–532.
- Veeken, P.C.H., 2007, *Seismic Stratigraphy, Basin analysis and Reservoir characterisation*, Elsevier, U.