ANALISIS SEISMIK AMPLITUDE VERSUS OFFSET (AVO) RESERVOAR BATU GAMPING FORMASI KUJUNG PADA LAPANGAN "GPH" CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA

Guspriandoko[1], Bagus Sapto Mulyatno[2], Ordas Dewanto[3]
Teknik Geofisika, Universitas Lampung
Jl Prof. Dr. SumantriBrojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

**e-mail*:*geoguspri@gmail.com*

ABSTRAK

Keberadaan anomali amplitudo (*dimspot*) pada penampang seismik merupakan salah satu indikator adanya hidrokarbon pada suatu reservoar. Metode AVO (*Amplitude Versus Offset*) bekerja berdasarkan domain reflektifitas dan dapat digunakan untuk menganalisis anomali hidrokarbon. Pada kasus tertentu metode ini juga digunakan untuk pemisahan litologi serta fluida. Untuk mengetahui penyebaran potensi gas di lapangan "GPH" cekungan Jawa Timur Utara, maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan AVO *attribute*. Dalam penilitian ini analisis AVO dilakukan untuk mengidentifikasi kelas anomali, FRM (*Fluid Replacement Model*) konsep substitusi fluida dalam bentuk pemodelan untuk melihat karakter reservoar. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil pemodelan FRM antara sumur G-3 dan G-5 dengan *sw* = 100%, mengalami peningkatan amplitudo terhadap *offset* pada sumur G-3 dan disubtistusi gas 100% pada sumur G-5 mengalami penurunan amplitudo terhadap *offset*. Pada zona reservoar batu gamping formasi kujung pada sumur G-1, G-2, G-3, G-4 tergolong anomali kelas I dengan nilai *intercept* positif dan *gradient* negatif berada pada kuadran IV pada *crossplot intercept* & *gradient* dengan nilai *gradient* terendah -0,05. Proses *clustering* dilakukan untuk analisis peta *attribute Near* dan *Far offset*, dengan pengambilan sudut *Near offset* 0-10° dan *Far offset* 20-35° serta orientasi arah NW-SE, menunjukkan perbedaan nilai amplitudo dengan jelas antara *reef* yang berisi *brine* dengan *reef* yang berisi gas. Sedangkan pada hasil *crossplot intercept* & *gradient* pada masing-masing *reef* ditemukan 1 zona potensi batu gamping gas yang perlu dianalisis lebih lanjut.

ABSTRACT

Amplitude anomaly (dimspot) on a seismic cross section is an indicator of the presence of hydrocarbons in a reservoir. The AVO (Amplitude Versus Offset) method is used to analyze hydrocarbon anomalies based on the reflectivity domain, but in some cases, this method can be used for lithologies and fluids separation. Therefore, further analysis is needed to determine the distribution of potential gases by using AVO attribute in the "GPH" field of northern east Java basin. In this study AVO analysis was performed to identify an anomaly classes, FRM (Fluid Replacement Model) as the fluid substitution concept in the form of model in order to understand the reservoir character. This research showed that the result of FRM modeling from well G-3 and well G-5 which sw = 100%, represent the increased amplitude to offset in well G-3 and 100% gas substitution in well G-5 have decreased ratio between amplitude to offset. Well G-1, G-2, G-3, G-4 in the limestone reservoir of Kujung formation is classified as anomaly class 1 which in the crossplot intercept & gradient, positive intercept and negative gardient are in quadrant IV and the lowest gradient value is -0.05. Clustering process was done to analize the map of near offset and far offset attribute which acquisition angle for the near offset is 0-10^o and for the far offset is 20-35^o while the direction is NW-SE. This showed the clear differencess of amplitude value between the reef which contains brine and the reef which contains gas. In the gardient and intercept crossplot, there was found a potential zona for limestone in every single reef which need to be analized even further.

Keywords: AVO (*Amplitude Versus Offset*), FRM (*Fluid Replacement Model*), *Near offset, Far offset, Intercept, and Gradient.*

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan suatu negara yang kaya akan sumber daya alam yang tersimpan di dalam perut bumi. Terutama pada minyak bumi dan gas bumi, seiring berjalannya waktu permintaan akan gas bumi semakin meningkat setelah pemerintah mengkonversikan bahan bakar rumah tangga dari minyak tanah ke gas maupun sebab lain seperti meningkatnya produksi kendaraan bermesin yang menggunakan bahan bakar gas dikarenakan ramah lingkungan. Oleh sebab itu, dilakukan peningkatan teknologi dalam eksplorasi sumber daya alam yakni salah satunya menggunakan metode seismik refleksi untuk mengoptimalkan pencarian minyak bumi dan gas bumi di indonesia.

Seismik adalah metode eksplorasi hidrokarbon yang menggunakan prinsip penjalaran gelombang. Metode ini dianggap baik dalam memberikan gambaran struktur geologi dan perlapisan batuan bawah permukaan secara lateral dengan cukup detail dan akurat.

Metode *Amplitude Versus Offset* (AVO) adalah suatu metode yang mengamati variasi amplitudo gelombang P terhadap kenampakan *bright-spot* atau *dim-spot* pada penampang seismik.

Metode ini mulai dikembangkan tahun 1984 oleh Ostrander, yang menunjukkan adanya variasi koefisien refleksi pasir gas terhadap bertambahnya sudut datang atau offset.

Penggunaan analisis AVO yang paling sukses adalah untuk mendeteksi gas sand/ reservoir batupasir yang mengandung gas, karena poisson's rasionya yang turun drastis pada batupasir yang mengandung gas (Chiburis, E., Leaney, S., Skidmore, C., Frank, C., dan McHugo, S., 1993). Meskipun metode AVO lebih banyak digunakan dalam kasus reservoar *gas* pada batuan pasir tetapi tidak menutup kemungkinan juga dapat dilakukan analisis untuk kasus reservoir gas pada batuan karbonat (Li, Y., J. Downton dan B. Goodway, 2003), sehingga diharapkan dengan analisis AVO pada reservoar batuan gamping dapat dikarakterisasi dengan lebih baik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Secara geologi Cekungan Jawa Timur terbentuk karena proses pengangkatan dan ketidakselarasan serta proses-proses lain, seperti penurunan muka air laut dan pergerakan lempeng tektonik..

Tren struktur dan sejarah pengendapan dari sedimentasi Tersier di Blok *West Madura Offshore* sebagian besar dikendalikan oleh konfigurasi batuan dasar yang dibentuk oleh peristiwa tektonik pada masa Kapur Akhir sampai dengan Tersier Awal. Tektonik pada jaman Kapur Akhir sampai Tersier Awal mengakibatkan adanya kombinasi dari tensional dan *wrech faulting* yang menghasilkan seri fitur *horst* dan *graben* berarah Timur Laut ke Barat Daya yang mengontrol konfigurasi awal pembentukan cekungan. Cekungan Jawa Timur Utara dikelompokkan ke dalam tiga kelompok struktur utama dari arah utara ke selatan, yaitu *North Platform*, *Central High* dan *South Basin* (Satyana, 2005). Tiga struktur utama Cekungan Jawa Timur Utara dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Secara Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara yang didominasi oleh suksesi dari endapan sedimen berumur Tersier dan yang lebih muda. Reservoar utama pada daerah ini ditemukan pada fasies *reefal carbonate buildup* yang berkembang sepanjang *highstands* utama yang berasosiasi dengan dua interval stratigrafi berumur Oligosen Awal (umur Strontium 31-34 Ma) dan Miosen Awal (umur Strontium 20-21.5 Ma). Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara dapat dilihat pada **Gambar 2**.

III. TEORI DASAR

1. Seismik Refleksi

Metode seismik refleksi mengukur waktu yang diperlukan suatu impuls suara untuk melaju dari sumber suara, terpantul

oleh batas-batas formasi geologi, dan kembali ke permukaan tanah pada suatu geopon. Refleksi dari suatu horizon geologi mirip dengan gempa pada suatu muka tebing atau jurang.

2. Komponen Seismik Refleksi

Komponen seismik refleksi menunjukkan komponen sebuah gelombang (tras seismik) seperti amplitudo, puncak, palung, *zero crossing*, tinggi dan panjang gelombang. Kemudian dari parameter data dasar tersebut dapat diturunkan beberapa komponen lain seperti impedansi akustik, koefisien refleksi, polaritas, fasa, resolusi vertikal, *wavelet*, dan sintetik seismogram.

3. Impedansi Akustik

Impedansi akustik merupakan kemampuan suatu batuan untuk melewatkan gelombang seismik yang melaluinya. Secara fisis, Impedansi Akustik merupakan produk perkalian antara kecepatan gelombang kompresi dengan densitas batuan.

4. Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi adalah suatu nilai yang merepresentasikan bidang batas antara dua medium yang memiliki impedansi akustik yang berbeda.

5. Seismogram Sintetik

Seismogram sintetik adalah data seismik buatan yang di buat dari data sumur, yaitu log kecepatan, densitas, dan *wavelet* dari data seismik. Dengan mengalikan kecepatan dengan densitas maka akan didapatkan deret koefisien refleksi. (Sukmono, 2000)

6. Hubungan Kecepatan Gelombang P (Vp) dan Gelombang S (Vs)

Bentuk sederhana dari persamaan kecepatan *P-wave* dan *S-wave* diturunkan untuk batuan *non-porous* dan isotropis. Persamaan kecepatan menggunakan koefisien *Lambda* (λ), modulus *Bulk* (K), dan modulus *Shear* (μ) dan dituliskan sebagai berikut (Lee , S.S., Wu, S.S.C., Hsu, C.H., Lin, J.Y., Yang, Y.L., Huang, C.S., and Jewng, L.D, 1998) :

$$V_p = \sqrt{\frac{K + {}^4/_{3}\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Dimana λ adalah koefisien *lambda* = *K* + 2/3 μ, *K* adalah modulus *bulk*, μ adalah modulus *shear* dan ρ adalah densitas.

Dalam karbonat, Rafavich (1984) menunjukkan Vp/Vs dapat digunakan untuk mendiskriminasi batugamping dari dolomit. Vp/Vs atau rasio impedansi juga telah berhasil digunakan untuk deteksi secara langsung hidrokarbon (*Direct Hydrocarbon Indicator- DHI*), terutama dengan teknik AVO karena Vp tidak sensitif terhadap perubahan fluida sementara Vs berubah terhadap saturasi dan jenis fluida yang berbeda, sehingga menghasilkan perubahan Vp/Vs.

7. Subtitusi Fluida Gassman

Fluida tertentu yang tersubstitusi oleh fluida yang lain akan mengakibatkan terjadinya perubahan respon seismik.

Respon seismik yang berubah mengindikasikan adanya perubahan dalam properti seismik. Didalam substitusi fluida sangat diperlukan untuk mengetahui kecepatan gelombang seismik, karena batuan yang tersaturasi fluida yang berbeda maka akan menghasilkan kecepatan gelombang seismik yang berbeda pula.

Subtitusi fluida merupakan salah satu bagian penting dalam analisa seismik atribut karena substitusi fluida merupakan alat bagi interpreter dalam mengukur dan memodelkan berbagai macam skenario fluida yang mungkin bisa menjelaskan anomali AVO yang teramati. Pemodelan dalam substitusi fluida harus terlebih dahulu menghilangkan pengaruh dari fluida yang pertama.

8. *Ampltude Versus Offset* (AVO)

a. Prinsip Dasar AVO

AVO pertama kali ditunjukan sebagai suatu teknik untuk menganalisa respon amplitudo pada seismik yang berasosiasi dengan kehadiran gas pada reservoir (Ostrander, 1984).

Anomali AVO muncul sebagai akibat penurunan dari koefisien refleksi gelombang seismik secara drastis dan puncak lapisan mengandung gas bila dibandingkan dengan koefisien refleksi dari lapisan-lapisan di sekitarnya.

9. Persamaan Zoepprit (1919) dan Pendekatan Aki-Richard

a. Zoeppritz (1919)

Zoeppritz (1919) telah menghubungkan parameter-parameter yang berupa amplitudo refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang, ΔV_p, ΔV_s, dan $\Delta\rho$ dari fenomena perambatan gelombang untuk sudut datang tidak sama dengan nol menjadi matriks.

b. Aki dan Richard (1980)

Persamaan Zoeppritz tidak memperlihatkan pemahaman yang mudah antara amplitudo dengan *offset* dan sifat batuannya, sehingga untuk *modelling* dan analisis AVO biasanya digunakan persamaan linearisasi, yaitu pendekatan dari persamaan Zoeppritz yang diturunkan oleh Richards dan Frasier (1976) serta Aki dan Richard (1980).

c. Shuey (1985)

Shuey (1985) menyusun kembali persamaan Aki dan Richard (1980).

$$R(\theta) = R_p + G.sin^2\theta = A + Bsin^2$$

9. Klasifikasi AVO

Rutherford dan Williams (1989) mempopulerkan klasifikasi anomali AVO yang membagi anomali AVO (berdasarkan kandungan minyak dan gas) menjadi tiga kelas yaitu: kelas I, (*high impedance contrast sands*); kelas II, (*near-zone impedance contrast sands*); dan kelas III, (*low impedance contrast sands*). Tahun 1998 Castagna et al. memperkenalkan sandstone kelas IV setelah ia melakukan *crossplot* AVO berdasarkan klasifikasi Rutherford dan Williams.

10. Atribut AVO

Atribut AVO berguna dalam peningkatan interpretasi, evaluasi reservoar dan memahami hubungan sifat-sifat fluida dan batuan. Dalam penelitian ini atribut yang digunakan antara lain adalah *Intercept* (A) dan *Gradient* (B).

a. *Intercept* (A)

Intercept (A) merupakan nilai koefisien refleksi gelombang seismik pada zero offset atau sumbu sudut datang nol (*zero angle axis*). *Intercept* merupakan suku pertama dari pendekatan Shuey terhadap persamaan Zoeppritz.

$$R(\theta) = R_p + \left[R_p \, . \, H_0 \, \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2} \right] \, sin^2\theta$$

Dengan A = Koefisien Refleksi pada *zero offset*

b. *Gradient* (B)

Gradient (B) merupakan kemiringan garis atau *slope* yang menggambarkan perubahan amplitudo relatif dengan sudut datang (θ). Untuk mengetahui perubahan atau pengurangan amplitudo terhadap *offset*, atribut ini harus digunakan dengan atribut *intercept*.

c. *Product Intercept*Gradient* (A*B)

Atribut ini merupakan perkalian antara *intercept* dengan *gradient* dan dapat digunakan sebagai indikator hidrokarbon secara langsung. Apabila nilai hasil perkalian kedua atribut tersebut positif berarti ada suatu pertambahan nilai amplitudo mutlak terhadap *offset*. Dan apabila hasil perkalian bernilai negatif, berarti ada pengurangan amplitudo absolut terhadap *offset*.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Data Seismik

Data seismik yang digunakan adalah data 3D seismik berbentuk *post-stack time migration*. *Crossline* daerah penelitian 1591-2258 dan *inline* 1585-2115.

2. Data Sumur

Data sumur yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4 (Empat) sumur, yaitu sumur G-1, G-2, G-3, dan G-4, serta 1 (satu) sumur yang tidak termasuk dalam lapangan "GPH" yakni G-5 hanya sebagai pembanding, namun hanya sumur G-3 yang memiliki kelengkapan data *checkshot* yang juga merupakan sumur utama penelitian. yang terlampir pada tabel 1.

3. Peta Persebaran sumur (**Gambar 3**).

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Fluid Replacement Scenario* atau AVO *Modelling*

Pada penelitian ini sebelum dibuat model sintetik AVO, terlebih dahulu dilakukan analisis fluida pengisi. Data sumur dibuat skenario konten fluida pada pengisi reservoar yang tersaturasi gas, air dan nilai log sebenarnya (insitu). Dengan mengubah nilai saturasi pada zona reservoar, terjadi perubahan nilai log Vp, Vs, densitas dan poisson ratio seperti pada **Gambar 4**. Kurva log berwarna merah merupakan nilai log sebenarnya (insitu), dan log berwarna biru merupakan tersaturasi air 100%.

Setelah didapat nilai log P-*wave*, S-*wave*, dan *density* makan kemudian dibuat *pre-stack synthetic* AVO dari log ini menggunakan algoritma Aki & Richard two term sehingga dapat dibandingkan pada analisis *pick* AVO (*gradient analysis*). Hasil sintetik AVO dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**. Data yang digunakan hanya yakni data sumur G-3 dan sumur G-5 yang merupakan data pembanding.

2. *Pick* AVO (*Gradient Analysis*)

Analisis pick AVO atau *gradient analysis* pada penelitian ini dilakukan dengan cara menge-*pick gather* seismik pada *event* zona reservoar sehingga diketahui bentuk kurva hubungan dari besar perubahan nilai amplitudo terhadap *offset*. Dimana pada penelitian ini hanya menggunakan 1 (satu) buah *event*. Data yang di analisis yaitu data seismik yang melewati sumur-sumur penelitian. Grafik perbandingan proses *pick* AVO antar masing-masing sumur yang ditunjukan pada **Gambar 7**.

3. *Picking Horizon*

Pada penelitian ini interpretasi horizon yang dilakukan menggunakan satu buah horizon yaitu horizon Kujung pada formasi Kujung. Interpretasi horizon ini menggunakan marker yang telah ditentukan pada interpretasi sebelumnya yaitu marker dari sumur G-3. Hasil proses *picking horizon* ditunjukkan pada **Gambar 8**, dari proses *picking horizon* menghasilkan peta berupa *time structure map* atau peta.

4. Analisis *Cluster*

Setelah didapatkan *time structure map*, kemudian dapat dilakukan proses pembagian *cluster*. Analisis *cluster* dari atribut seismik yakni metode yang digunakan untuk mengelompokkan litologi dari data seismik yang telah direkam atau diproses. Untuk hasil analisis yang lebih detail *cluster* dapat dilihat pada **Gambar 9**.

5. *Crossplot* AVO *Intercept-Gradient*

Crossplot AVO *intercept-gradient* yang merupakan hasil dari proses atribut seismik. Data yang digunakan dengan menggunakan data yang telah dilakukan proses pembagian *cluster*. Dari penelitian terlihat bahwa *cluster* gas cukup terpisah dengan baik dengan *cluster* brine. Dimana *cluster* gas dengan titik berwarna merah dan *cluster* brine dengan titik berwarna biru.

Dengan melihat kondisi seperti itu, melihat hasil crosplot dari trend analysis masih dapat untuk diamati polanya. Hasil proses *Crossplot* AVO *intercept-gradient* ditunjukkan pada **Gambar 10**.

6. Analisis AVO

Pada proses analisis AVO ini dilakukan pada data seismik berupa *pre-stack gather* yang telah dilakukan *pre-conditioning* sebelumnya. Data yang dianalisis adalah CDP *gather* yang melewati sumur-sumur

penelitian serta zona potensi lain (*dimspot*) yang terlihat pada penampang seismik.

a. Analisis *Near Offset* dan *Far Offset*

Dari data CDP *gather* dilakukan proses *angle gather* dimana akan tampak nilai sudut terjauh. *Angle stack* menggambarkan perjalanan gelombang seismik dari sumber sampai sudut yang ditentukan, dimana sudut tersebut akan menggantikan fungsi jarak. Seperti diketahui bahwa dalam melakukan analisis AVO maka sudut tidak melebihi sudut kritis (35°). Dibagi menjadi *Near angle stack* dan *Far angle stack* untuk dapat melihat perubahan nilai amplitudo. Dengan masing – masing dipisahkan menjadi 0-10° untuk *Near Angle Stack* dan 20-35° untuk *Far Angle Stack*. Peta persebaran *Near offset* dan *Far offset* ditunjukan pada **Gambar 11** dan **Gambar 12**.

5.1.8.2. Analisis *Intercept-Gradient*

Pada analisa simulasi *intercept-gradient*, kehadiran 2 *cluster* tersebut (gas dan *brine*) memberikan dua tipe informasi. Pertama adalah derajat keterpisahan dari *cluster* tersebut, kemudian menyatakan seberapa baik AVO dapat memisahkan tipe-tipe fluida tersebut. Menentukan secara visual fluida jenis apa dari nilai-nilai tersebut. Penampang *intercept*, *gradient* dan *product* (A*B) ditunjukan pada **Gambar 13**. Peta persebaran *intercept-gradient* dapat dilihat pada **Gambar 14** dan **Gambar 15**.

7. Analisis Reservoar

Analisis reservoar pada penelitian ini dilakukan setelah dilihat dan analisis dari semua hasil tahapan bahwa proses analisis dengan menggunakan metode AVO mampu memisahkan pengisi fluida terutama dengan anomali gas. Hal ini dibuktikan dengan masing-masing proses yang dilakukan pada penelitian ini.

Beberapa pendekatan dilakukan dengan membandingkan nilai sebenarnya atau near-far offset dengan simulasi intercept dan gradient serta skenario modelling fluida berupa Fluid Replacement Model (FRM). Kemudian di hasilkan bahwa anomali yang masing-masing menunjukkan perubahan amplitudo.

Sebelum dilakukan pembagian *cluster* (*clustering*) diketahui bahwa sumur yang berisi hidrokarbon gas terdapat pada sumur G-3, sumur tersebut menjadi acuan untuk proses pembagian *cluster* dan analisis fluida pengisi pada sumur-sumur yang lain.

Pembagian *cluster* yang telah dibuat yang kemudian dilakukan proses ekstrak pada masing-masing *reef*, maka reef tersebut memiliki nilai sesuai atribut volume yang dilakukan. Berdasarkan **Gambar 15** *crossplot* antara *intercept* dan *gradient* pada masing-masing *reef*. Sesuai dengan analisis yang dilakukan sebelumnya, bahwa sumur G-3 di identifikasi berisi gas, maka *reef* F berisikan gas, dan *reef* yang lain akan di *crossplot* dengan *reef* F.

Hasil *crossplot* bergeser ke kanan atau mendekati dan berada pada *wet trend* maka respon tersebut berupa fluida air (*brine*) sedangkan apabila hasil *crossplot* bergeser ke kiri atau menjauhi dari *wet trend* maka berupa gas. Titik plot berwarna merah merupakan gas, dan titik plot berwarna biru merupakan air (*brine*). Hal ini mengacu pada ilustrasi garis pengikat/ *trend* AVO (Castagna dan Smith,1994).

Berdasarkan pada **Tabel 2** maka dapat dilihat bahwa yang berisi gas terdapat pada *reef* F dan *reef* H, sedangkan yang berisi *brine* atau air terdapat pada *reef* A, *reef* B, *reef* C, *reef* D, *reef* E, *reef* G, dan *reef* I.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan pemodelan sintetik menggunakan metode *Fluid Replacement Model* (FRM) dengan gas sebagai insitu dan disubtitusi air 100% pada sumur G-3, mengalami peningkatan amplitudo terhadap *offset* dengan menghasilkan seismogram sintetik berupa *wiggle* seismik yang semakin tebal atau *tight*. sedangkan

sumur G-5 sebagai pembanding dengan air (*brine*) disubtitusi gas 100% mengalami penurunan amplitudo terhadap *offset*.

2. Dari analisis AVO pada masing-masing sumur, setiap sumur memiliki nilai *intercept* positif dan *gradient* negatif berada pada kuadran IV merupakan jenis reservoar gas tipe AVO kelas I dengan sumur G-3 memiliki nilai *intercept* dan *gradient* lebih kecil dari sumur yang lain. Pada *product intercept*gradient* (A*B) hasil perkalian yaitu negatif yakni menunjukkan adanya pengurangan amplitudo terhadap *offset*.
3. Pada hasil *Near offset* dengan sudut 0-10° dan *Far offset* dengan sudut 20-35° pada penampang 2D dan peta volume atribut menunjukkan perbedaan nilai amplitudo terhadap *offset* secara visual dan nilainya bergantung pada pengambilan sudutnya sesuai *angle of incidence*.
4. Berdasarkan analisa hasil *crossplot* pada pembagian *cluster* berupa poligon *reef*. yang berisi gas terdapat pada *reef* F dan *reef* H ditandai dengan plot menjauhi *wet trend*, sedangkan fluida yang berisi *brine* atau air terdapat pada *reef* A, *reef* B, *reef* C, *reef* D, *reef* E, *reef* G, dan *reePf* I ditandai dengan plot mendekati atau berada pada *wet trend*.

6.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Akan lebih baik jika jumlah sumur yang digunakan memiliki kelengkapan data yang lebih lengkap salah satu nya seperti log Vs yang berasal dari hasil pengukuran
2. Perlu dilakukan analisis *Lamda-Rho* dan *Mu-Rho*, serta teknik inversi *Extended Elastic Impedance* (EEI).
3. Sangat dianjurkan untuk mempelajari Petrofisika dan interpretasi sumur untuk lebih mengetahui keadaan dibawah permukaan bumi. Hal ini dapat membantu untuk karakterisasi reservoar berdasarkan anomali AVO.

DAFTAR PUSTAKA

Aki A., and Richard P.G. 1980. *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, W.H.Freeman & Company.

Castagna, J. P., and Smith, S.W. 1994. *Comparison of AVO indicators: A modeling study*: Geophysics, 59, 1849–1855.

Chiburis, E., Leaney, S., Skidmore, C., Frank, C., and McHugo, S., 1993, *Hydrocarbon Detection with AVO*, Oilfield Review: Januari.

Lee, S.S., Wu, S.S.C., Hsu, C.H., Lin, J.Y., Yang, Y.L., Huang, C.S., and Jewng, L.D., 1998, 3-D AVO Processing and Aplication, The Leading Edge 17, 693-696.

Li, Y., J. Downton and B. Goodway, 2003, Recent applications of AVO to carbonate reservoirs in the Western Canadian Sedimentary Basin: The Leading Edge, 22, 670-674.

Ostrander W.J. 1984, *Plane wave reflection coefficient for gas sands at non-normal angles of incidence*, Geophysics 49, 1637-1648.

Rafavich, F., Kendall, C. H. St. C., dan Todd. T.P. 1984.*The Relationship Between Acoustic Properties and The Petrographical Character of CarbonateRocks*, Geophysics, 49, 1622-1634

Rutherford, S., and Williams. R. 1989. *Amplitude versus offset variation in gas*

sands, Geophysics 54, 680-688.

Satyana., A.H. 2005. Oligo-Miocene Carbonates of Java : *Tectonic-Volcanic Setting and Petroleum Implications*. Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA). 30th annu. conv., p. 217-250.

Shuey, R.T. 1985. *A simplification of the Zoepprite equations*. Geophysics 50, 609-614.

Sukmono. S. 2000. *Seismik Inversi Untuk Karakterisasi Reservoir*. Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Zoeppritz, R. 1919. *On the reflektion and propagation of seismic waves*, Erdbebenwellen VIIIB; Gottinger Nachrichten I, 66-68.

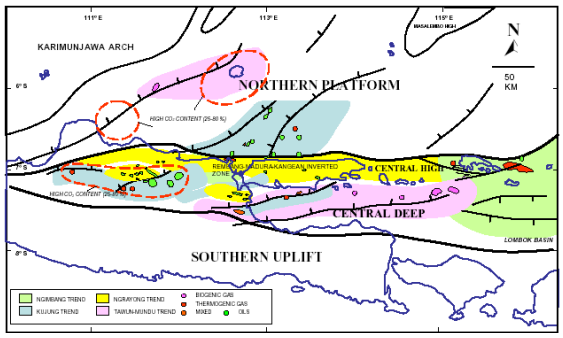
LAMPIRAN

Tabel 1. Rincian Data Sumur Penelitian

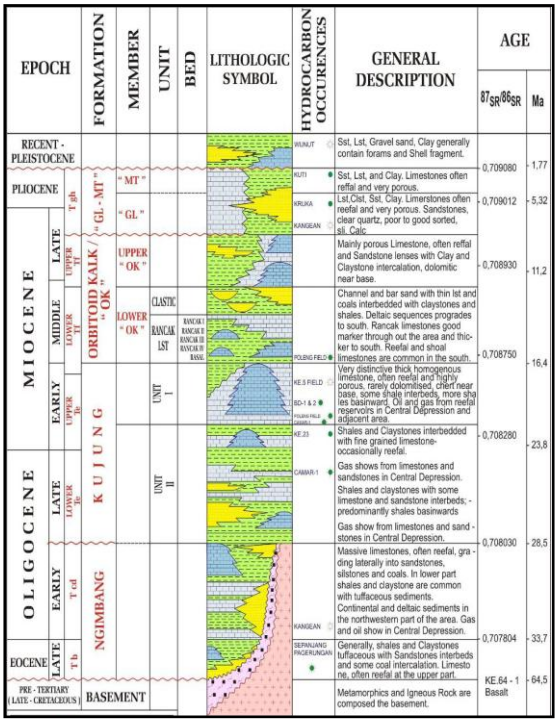
SUMUR	LOG							*MARKER*	*CHECKSHOT*	*VELOCITY*
	CALI	GR	VP	VS	NPHI	RHOB	LLD			
G-1	*YES*	*YES*	*YES*	*NO*	*YES*	*YES*	*NO*	*YES*	*NO*	*YES*
G-2	*YES*	*YES*	*YES*	*NO*	*YES*	*YES*	*NO*	*YES*	*NO*	*YES*
G-3	*YES*	*YES*	*YES*	*YES*	*YES*	*YES*	*YES*	*YES*	*YES*	*YES*
G-4	*YES*	*YES*	*YES*	*NO*	*NO*	*YES*	*YES*	*YES*	*NO*	*YES*
G-5	*NO*	*YES*	*YES*	*YES*	*NO*	*YES*	*YES*	*YES*	*NO*	*YES*

Tabel 2. Respon *crossplot intercept* dan *gradient* pada masing-masing *reef*.

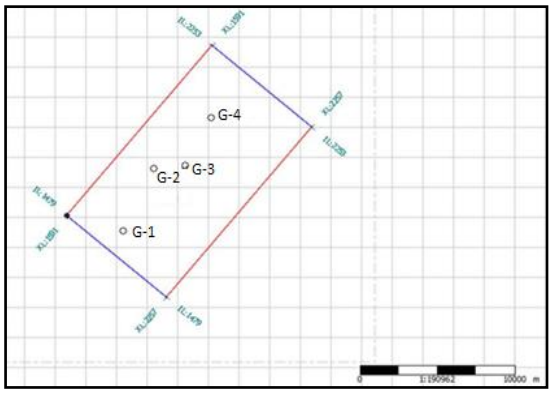
REEF	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**
BRINE	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	✓
GAS	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×



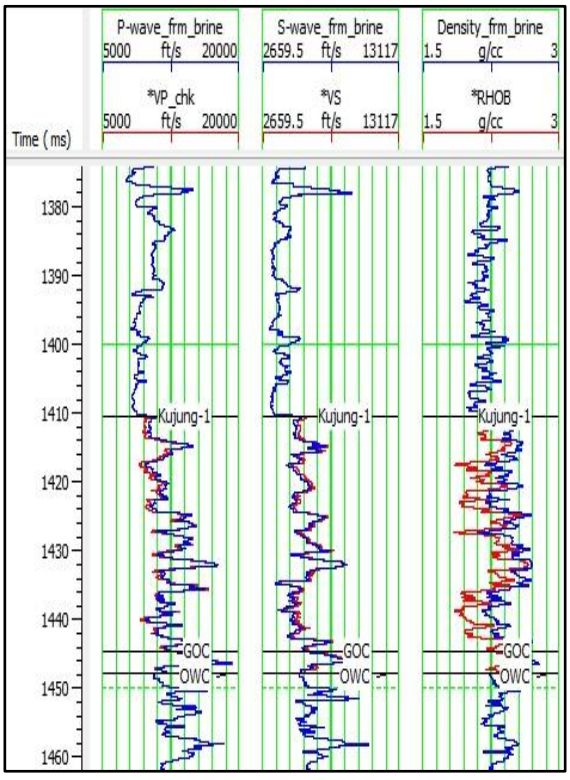
Gambar 1. Tiga struktur utama Cekungan Jawa Timur (Satyana dan Purwaningsih, 2003).



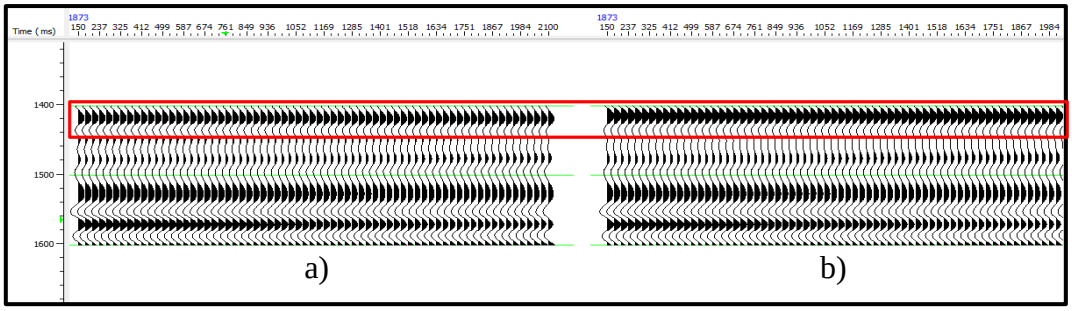
Gambar 2. Stratigrafi regional blok *West Madura Offshore* (PHE WMO, 2009)

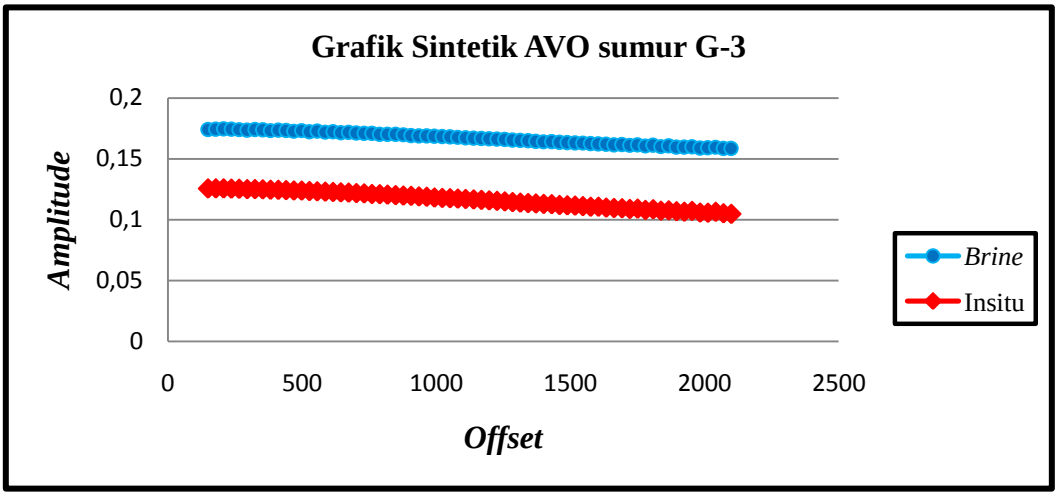


Gambar 3. *Base Map*

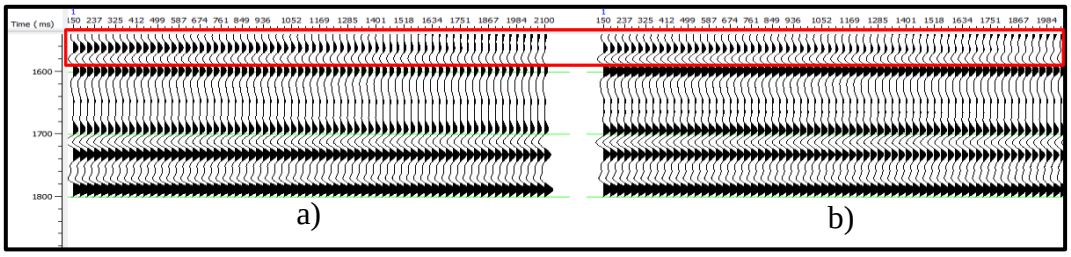


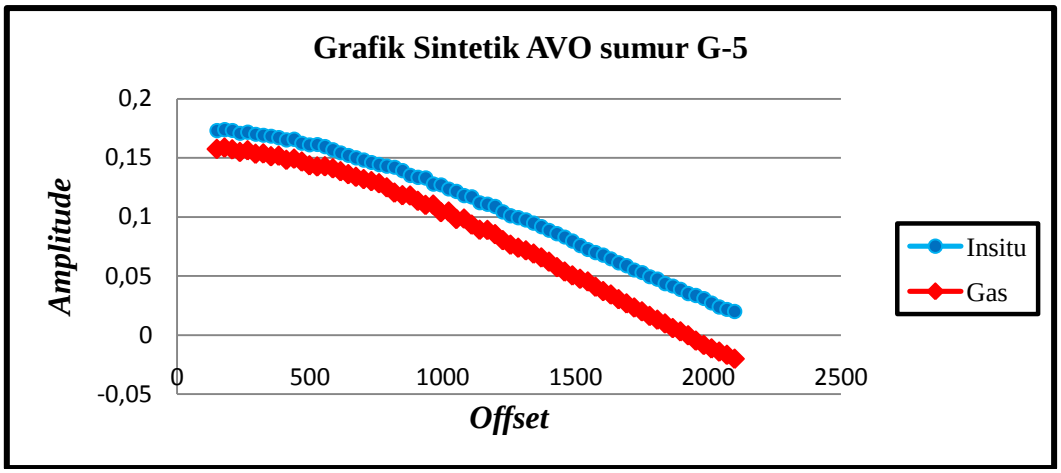
Gambar 4. Data log Vp, Vs, *density* hasil perubahan skenario fluida pada sumur G-3



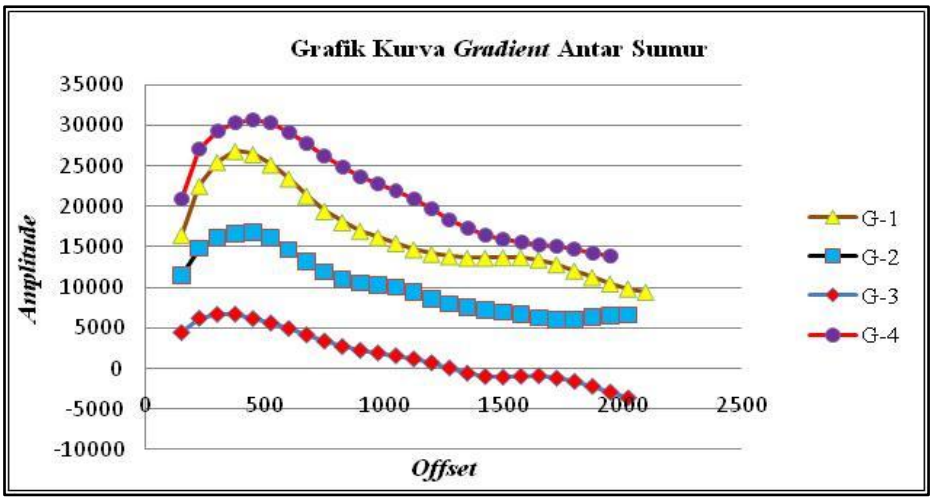


Gambar 5. Hasil sintetik AVO dan grafik sintetik pada sumur G-3, a) sintetik insitu; b) sintetik *brine*

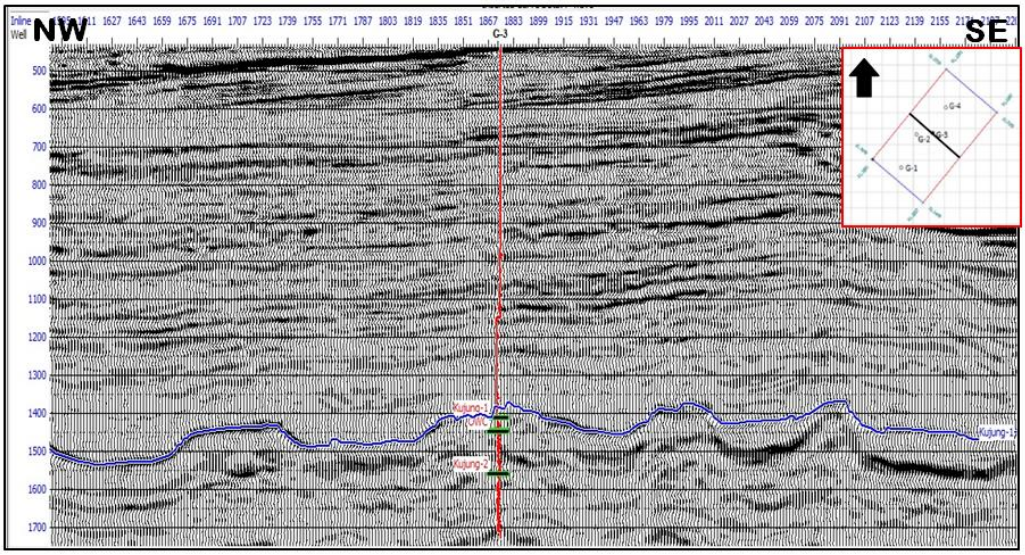




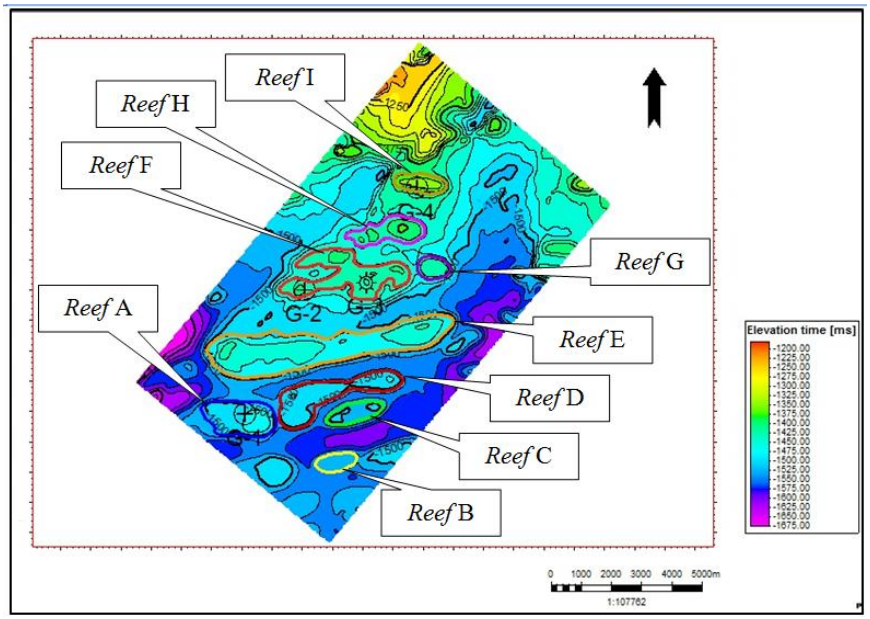
Gambar 6. Hasil sintetik AVO dan grafik sintetik pada sumur G-5, a) sintetik insitu; b) sintetik gas



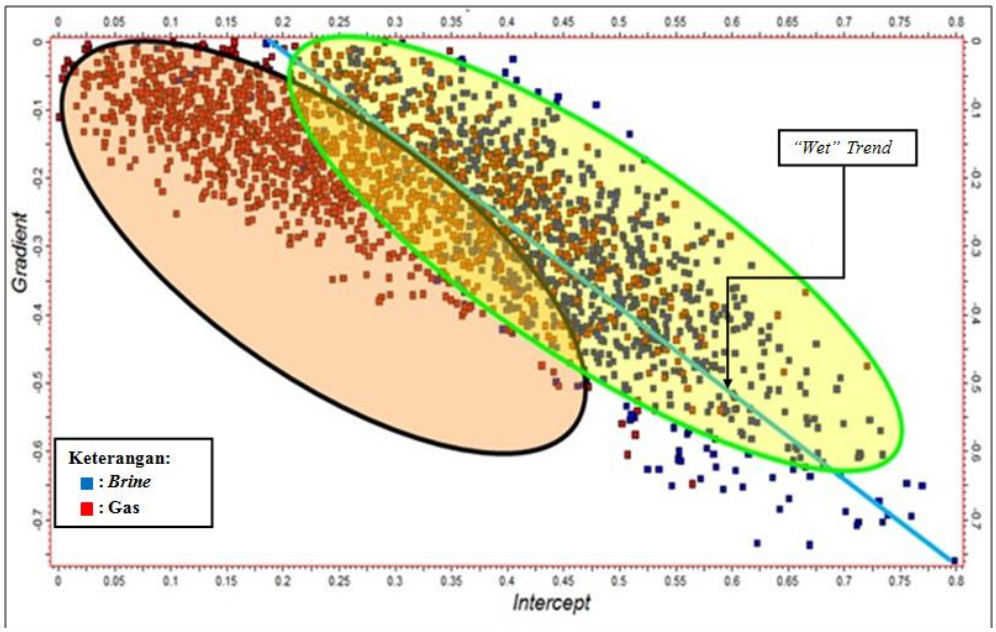
Gambar 7. Grafik Perbandingan Kurva *Gradient* antar Sumur



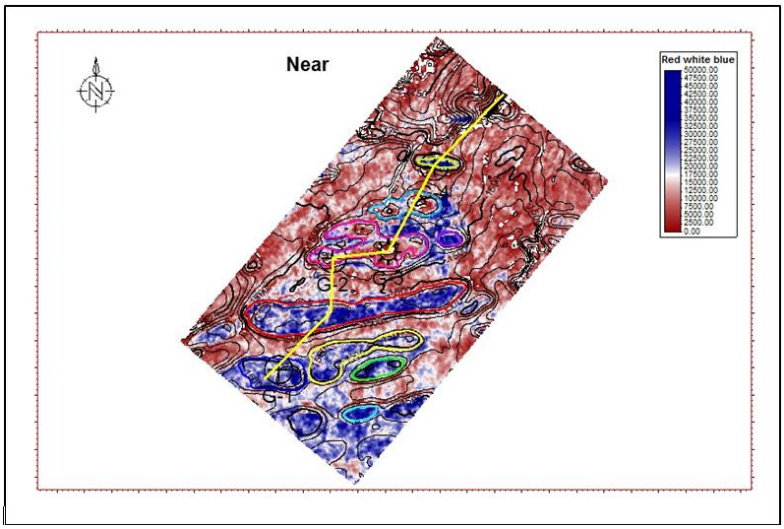
Gambar 8. *Picking horizon*



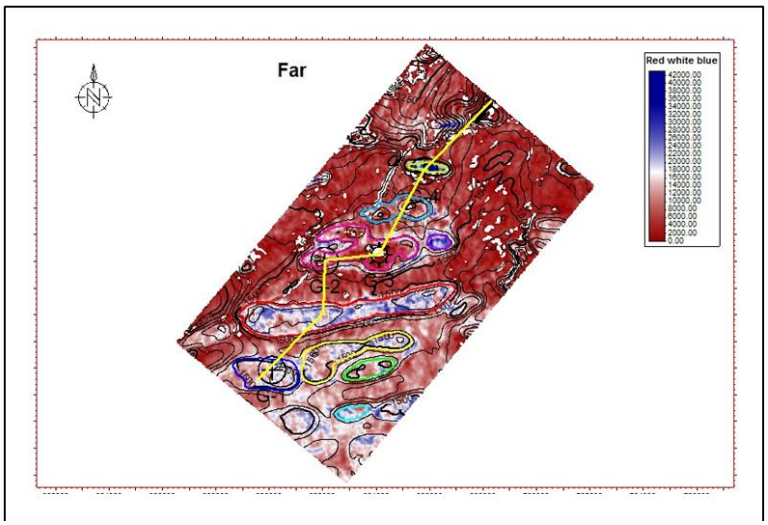
Gambar 9. Peta Analisis *Cluster*



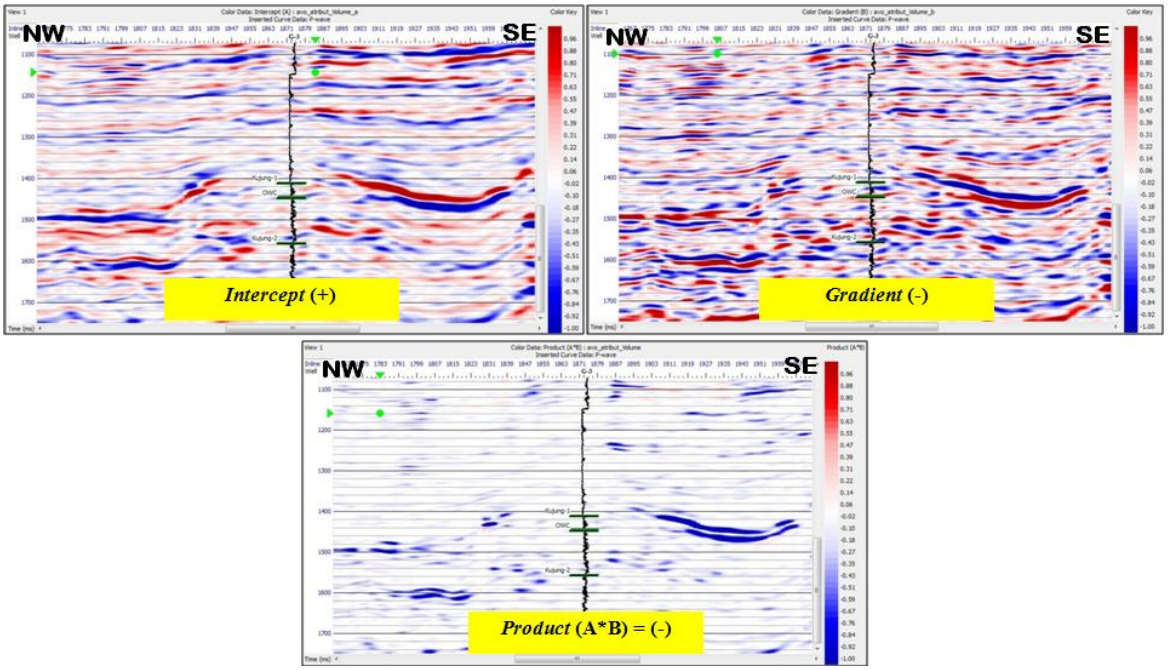
Gambar 10. *Crossplot Intercept* (X) dan *Gradient* (Y)



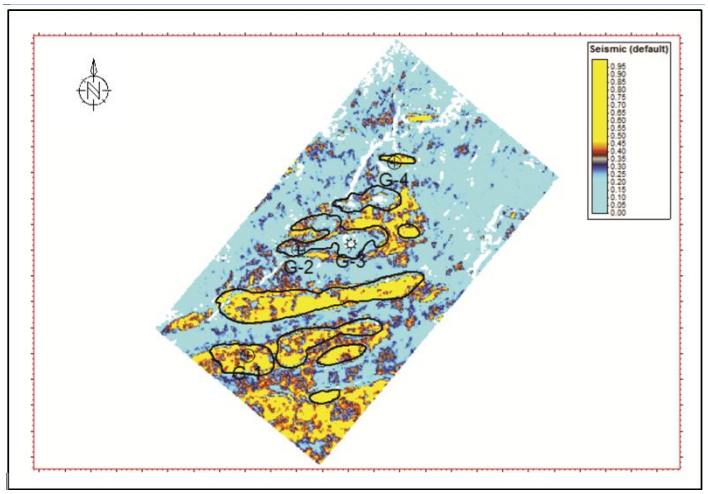
Gambar 11. Peta Persebaran *Near Offset*



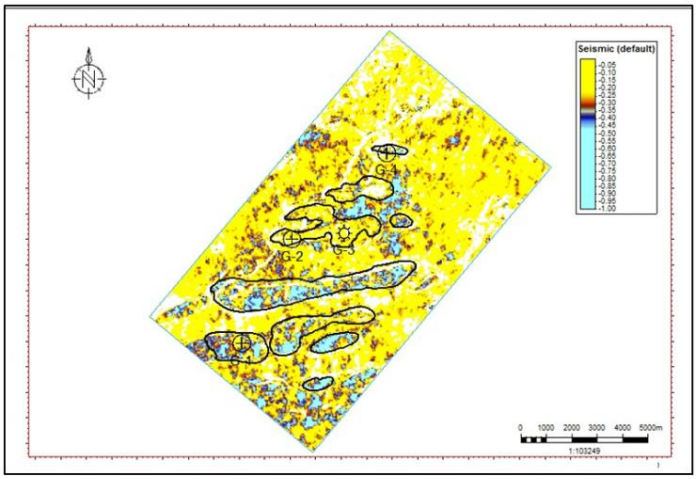
Gambar 12. Peta Persebaran *Far Offset*



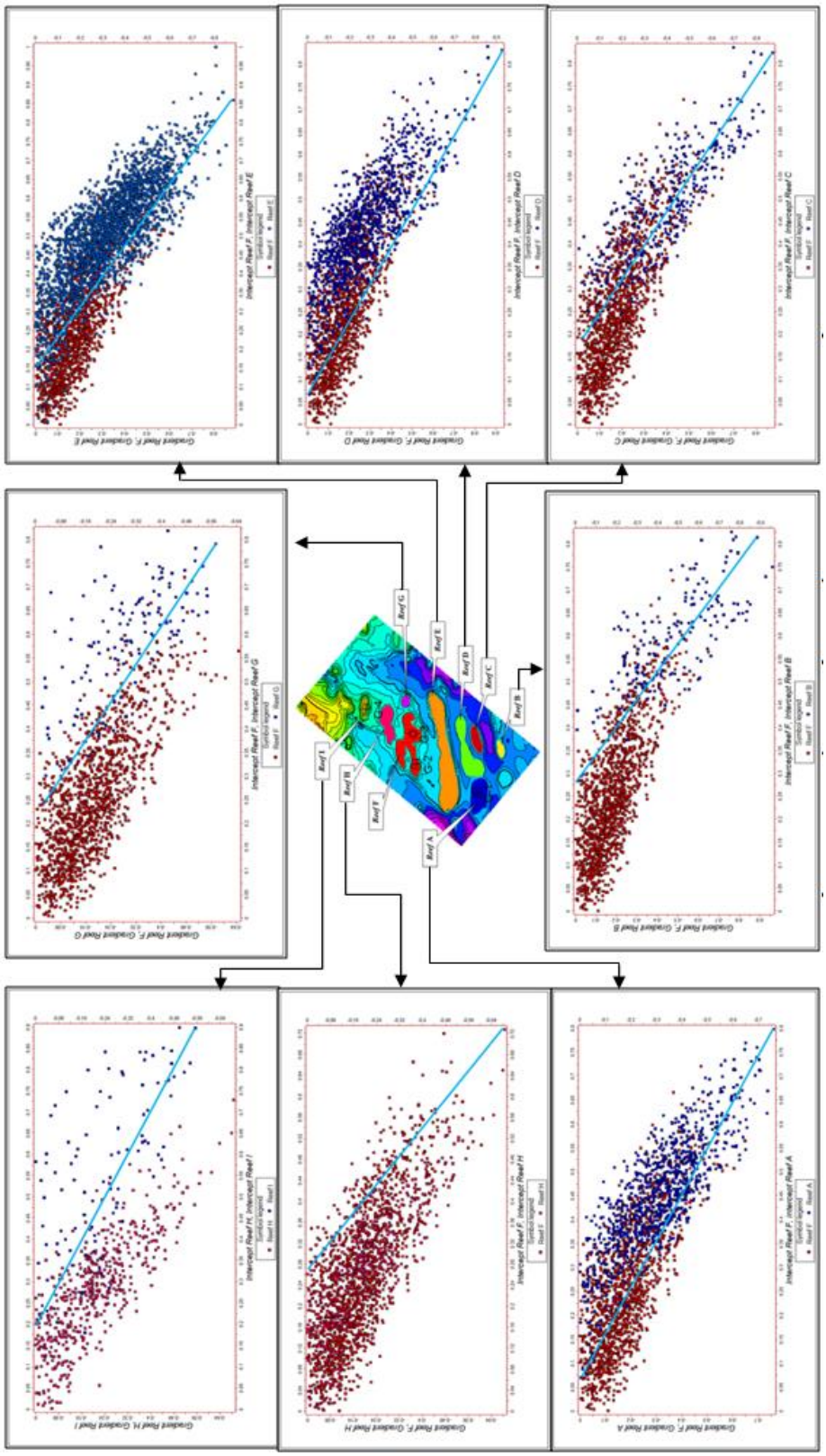
Gambar 13. Perbandingan penampang atribut intercept, gradient dan product dari data seismik yang melewati sumur G-3



Gambar 14. Peta Persebaran *Intercept*



Gambar 15. Peta Persebaran *Gradient*



Gambar 16. *Crossplot Intercept* dan *Gradient* pada masing-masing *Reef*