e-ISSN 2580 - 0752

BULLETIN OF
GEOLOGY
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB)
Institut Teknologi Bandung (ITB)

METODE *SEISMIC PORE PRESSURE* UNTUK PENYEBARAN TEKANAN LUAP DI BLOK ARU, CEKUNGAN SUMATRA UTARA

JIHAN CESSAR HALLEL GURNING, AGUS MOCHAMAD RAMDHAN

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10 Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40132, Email: jihan.cessar@gmail.com

Sari - Cekungan Sumatra Utara merupakan salah satu cekungan belakang busur berumur Tersier yang sudah dieksplorasi sejak zaman kolonial. Keberadaan zona tekanan luap di cekungan ini juga sudah dikenal. Adanya sekuen serpih ataupun batulempung yang cukup tebal dapat menghasilkan kondisi tekanan luap. Oleh karena itu, pengetahuan tekanan pori beserta berat lumpur yang digunakan untuk mengatasi tekanan tersebut sangatlah penting. Pendekatan yang dilakukan untuk menentukan nilai tekanan pori dengan metode empiris Eaton umumnya hanya pada sumur saja. Pada penelitian ini, penentuan tekanan pori secara lateral dilakukan dengan menggunakan data seismik dan kecepatan interval seismik. Data log talikawat dan data kecepatan interval seismik diintegrasikan untuk menghasilkan estimasi nilai tekanan pori dan persebaran zona tekanan luap pada Cekungan Sumatra Utara. Tekanan luap yang terjadi pada daerah penelitian ini diakibatkan oleh mekanisme non-pembebanan berupa perubahan mineral smektit menjadi ilit. Puncak tekanan umum mengikuti lapisan stratigrafi dan kadang memotong ke formasi di atasnya.

Kata kunci: tekanan luap, kecepatan seismik, Eaton, log talikawat, Cekungan Sumatra Utara.

Abstract *- The North Sumatra Basin is one of the Tertiary back-arc basins which has been explored since the colonial era. The existence of overpressured zone has already been recognized. This is due to the existence of shale or claystone sequence that is capable to generate overpressure condition. Therefore, the understanding and knowledge of pore pressure and the mud weight used to counter the pressure are of paramount importance. The approach used to define pore pressure value with Eaton empirical method is generally done on wells only. In this research, determination of lateral pore pressure distribution is done with the seismic image and seismic interval velocity data. Wireline log and seismic interval velocity data are both being integrated to generate the pore pressure estimation and the distribution of overpressured zone in the North Sumatra Basin. The overpressure in this research area is caused by non-loading mechanism with the transformation of smectite into illite. The top of overpressure generally follows stratigraphic layer and sometimes it crosses the stratigraphic layer.*

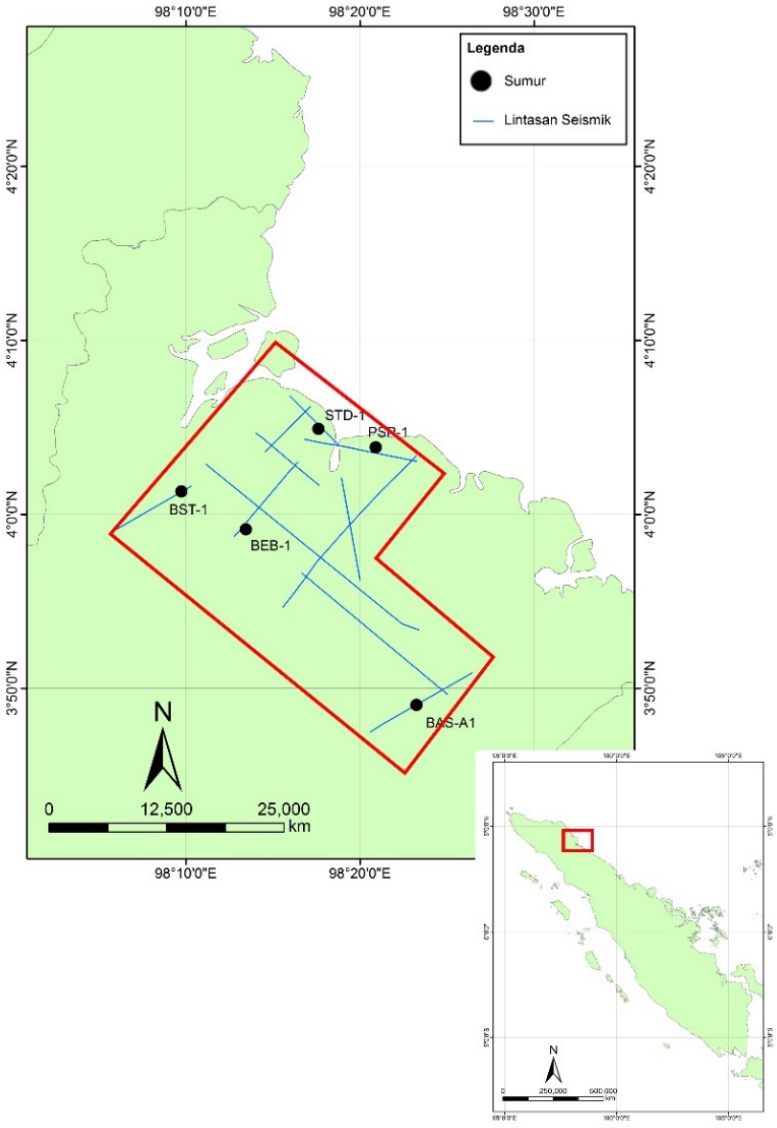
Keywords*: overpressure, seismic velocity, Eaton, wireline log, North Sumatra Basin.*

1. PENDAHULUAN

Blok Aru merupakan salah satu daerah penghasil hidrokarbon di Cekungan Sumatra Utara (**Gambar 1**). Cekungan ini memiliki beberapa reservoir utama, yaitu Formasi Keutapang yang berumur Miosen Akhir hingga Pliosen dan Formasi Baong Tengah yang berumur Miosen Tengah. Cekungan ini berada di daratan dan lautan. Potensi hidrokarbon yang sangat besar di Blok Aru menjadikan cekungan ini sebagai salah satu lokasi eksplorasi hidrokarbon di Indonesia. Keberhasilan pengeboran migas di daerah ini sangat penting. Estimasi perencanaan puncak tekanan luap yang cukup akurat menjadi kunci kesuksesan kegiatan pengeboran sebelum pengeboran tersebut dilaksanakan. Estimasi besaran ini akan sangat menentukan faktor lainnya, seperti biaya operasional pengeboran, tingkat keselamatan kerja, dan waktu yang dibutuhkan hingga pengeboran dapat selesai. Estimasi besaran *overpressure* yang direpresentasikan dalam berat lumpur pengeboran juga tidak terlepas dari pemahaman yang baik tentang kondisi geologi setempat. Pemahaman ini dapat menjadikan kegiatan pengeboran lebih efisien.

Salah satu metode yang dipakai pada kegiatan eksplorasi ialah metode seismik refleksi. Metode seismik refleksi ini tidak hanya dipakai untuk kegiatan eksplorasi saja, tetapi juga digunakan pada tahap produksi

dan prediksi tekanan pori.Seismik refleksi yang dapat memprediksi keberadaan puncak tekanan luap secara lateral menjadikan seismik sebagai opsi data yang dapat diandalkan untuk mencitrakan kondisi di bawah permukaan. Pembalikan kurva sonik atau *sonic curve reversal* dipercaya sebagai penanda dari kehadiran zona *overpressure*. Kurva sonik yang semula bergerak dari nilai besar menuju kecil secara stabil, lalu tiba-tiba mengalami pembalikan atau kembali bergerak ke nilai yang lebih besar mengindikasikan keberadaan puncak zona tekanan luap (Manik dan Soedaldjo, 1984). Hal ini juga diperkuat dengan penelitian lainnya, seperti di Cekungan Kutai oleh Ramdhan (2010) dan di Teluk Meksiko oleh Bowers (1995). Perubahan nilai kurva sonik sebesar 25 – 40 μdetik/kaki sudah mampu menyebabkan tekanan luap yang cukup signifikan. Litologi yang berasosiasi dengan pembalikan nilai sonik ini juga perlu diperhatikan. Hanya litologi *shale* saja yang berpotensi menyebabkan tekanan luap. Ketidaksamaan formasi dimana tekanan luap mulai hadir di Blok Aru menimbulkan masalah baru. Pemahaman tentang perubahan variasi puncak tekanan luap ini menjadi tantangan berikutnya. Penelitian akan difokuskan kepada variasi perubahan puncak tekanan luap secara lateral yang ditunjukkan dari pembalikan nilai sonik, baik data log talikawat maupun data kecepatan seismik.



Gambar 1. Peta dasar beserta sumur dan lintasan seismik yang dipakai dalam penelitian. Batas daerah penelitian ditunjukkan dengan garis batas berwarna merah.

DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5

2. DATA DAN METODOLOGI

1.1 Data

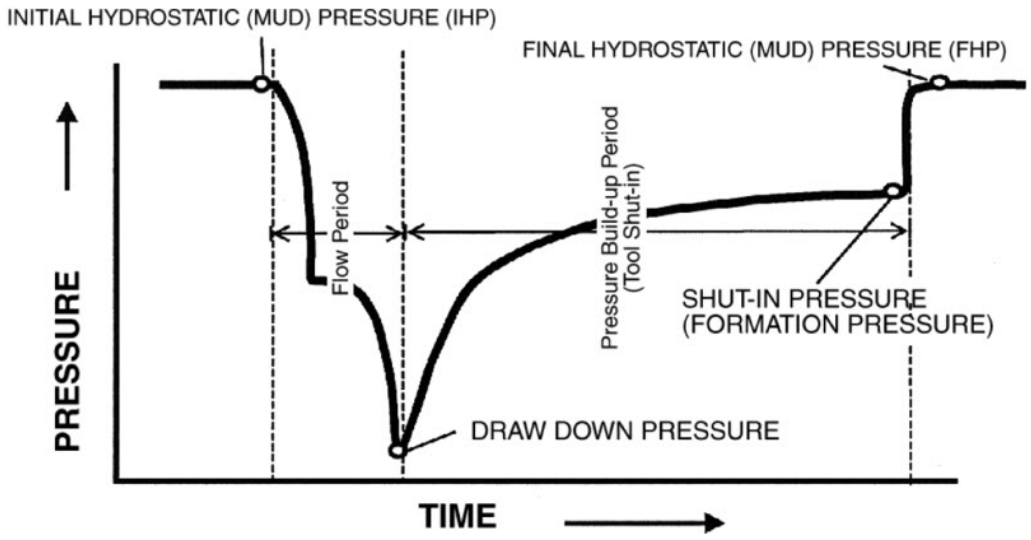
Data yang digunakan di penelitian ini adalah data log talikawat dari empat (4) sumur, laporan *post-mortem* kegiatan pemboran, data geokimia, data kecepatan *rms* dan/atau interval seismik, dan penampang seismik *post-stack*.

1.2 Metodologi

Tekanan pori pada formasi dapat ditentukan dari pengolahan tiga tipe data, yaitu dengan menggunakan (1) Data pengukuran langsung, (2) Data pengukuran tidak langsung, dan (3) Data seismik.

1.2.1 Data Pengukuran Langsung

Data pengukuran langsung yang dimaksud adalah RFT/MDT dan DST. Data ini didapatkan dari hasil pengukuran langsung di zona yang berpori dan berpermeabilitas baik. Tujuannya adalah mengukur seberapa besar tekanan formasi, batas antarfluida yang berbeda fase dan permeabilitas formasi tersebut. Di dalam laporan akhir terdapat banyak jenis-jenis tekanan yang dicatat, tapi tidak semua jenis tekanan itu dapat dipakai (**Gambar 2**). Penentuan jenis tekanan yang tepat akan menentukan kualitas hasil yang dihasilkan.



Gambar 2. Kurva pengukuran RFT (*repeat formation tester*). Kotak biru menunjukkan jenis tekanan yang digunakan.

1.2.2 Data Pengukuran Tidak Langsung

Data pengukuran tidak langsung yang dimaksud adalah log talikawat. Log talikawat yang digunakan adalah log sonik, *Gamma Ray*, resistivitas, densitas, dan porositas neutron. Langkah pertama dimulai dengan pemisahan litologi *shale* dan *non-shale* menggunakan log *Gamma Ray*. Secara petrofisik, volume serpih yang dihitung dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Vsh = \frac{GRlog - GR\ min}{GR\ \max - GR\ min} \qquad (1)$$

dengan:
V_{sh} = volume serpih
GRlog = bacaan *gamma ray* pada log
GR max = bacaan *gamma ray* maksimum
GR min = bacaan *gamma ray* minimum

Setelah ini, plot kesemua log yang ada terhadap kedalaman. Plot hanya dilakukan pada interval *shale* saja. Litologi *shale* memiliki permeabilitas rendah sehingga tekanan pori cenderung lebih "stagnan" jika dibandingkan dengan litologi *non-shale*.

1.2.3 Data Seismik

Data seismik yang dimaksud adalah data lintasan seismik *post-stack* dan data kecepatan seismik. Data seismik *post-stack* dianggap sudah melalui tahap pemrosesan yang baik. Data kecepatan seismik didapat

DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5

dari tahap analisis kecepatan saat pemrosesan seismik berlangsung. Data kecepatan seismik merupakan kumpulan data kecepatan RMS tiap-tiap CDP (*common depth point*) yang cukup rapat baik lateral maupun vertikal untuk keperluan estimasi Eaton. Estimasi nilai densitas dari data kecepatan seismik didapat dari persamaan Gardner. Persamaan Gardner dipakai untuk mencari konstanta yang tepat agar mirip dengan log talikawat densitas pada sumur.

1.2.4 Pengolahan Data

Seperti yang sudah disinggung sebelumnya di awal bab, pengolahan akan dikelompokkan menjadi dua, yaitu pengolahan data sumur dan data seismik. Untuk data sumur, hal-hal yang harus dilakukan adalah pengondisian data log talikawat hingga siap pakai, analisis *shale* dan *non-shale* untuk pemisahan pasir dan non-pasir, pembuatan kurva NCT (*normal compaction trend*), penentuan koefisien Eaton, pembuatan plot tekanan – kedalaman dari laporan akhir pengeboran dan laporan *mud-logging*, dan memutakhirkannya dengan menambahkan estimasi nilai tekanan pori tiap sumur dengan metode Eaton. Input dari metode Eaton ini adalah log sonik tiap-tiap sumur. Laporan geokimia juga dibuat untuk analisis mekanisme pembentukan *overpessure*. Metode Eaton adalah metode untuk menghitung nilai estimasi tekanan pori dengan bantuan kurva NCT.

Estimasi nilai tekanan pori metode Eaton juga dapat diterapkan pada data kecepatan seismik (kecepatan interval). Kalibrasi (*curve fitting*) antara data sonik dan data kecepatan seismik harus dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan estimasi dengan metode Eaton. Pangkat nilai Eaton yang digunakan harus disesuaikan dengan pangkat yang cocok dengan plot tekanan – kedalaman tiap sumur. Kalibrasi dengan data RFT, LOT, dan DST perlu dilakukan untuk menjadikan nilai pangkat ini dapat dipercaya dan valid.

2. ANALISIS HASIL

2.1 Analisis Tegasan dan Tekanan

Analisis dilakukan pada semua data yang sudah dikonversi ke data tegasan dan tekanan, seperti tegasan vertikal, tekanan hidrostatis, berat lumpur, dan informasi pengukuran tekanan langsung.

2.1.1 Sumur STD-1

Sumur STD-1 berada di sisi timurlaut daerah penelitian dan memiliki kedalaman 10826 kaki. Pada **Gambar 3** terlihat bahwa berat lumpur mengalami kenaikan pada kedalaman 4700 kaki dan kemudian menurun pada kedalaman 9200 kaki. DST dilakukan pada kedalaman 9800 kaki.

2.1.2 Sumur BST-1

Sumur BST-1 terletak di sisi barat dari daerah penelitian. Kedalaman akhir yang didapat adalah 5740 kaki. Berat lumpur mengalami kenaikan kecil pada kedalaman 700 kaki. Tidak ditemukan adanya permasalahan seperti kenaikan berat lumpur yang mendadak di sumur ini. Kenaikan berat lumpur tampak sangat lembut dan tidak dijumpai adanya kick dan permasalahan pengeboran yang lainnya (**Gambar 4**).

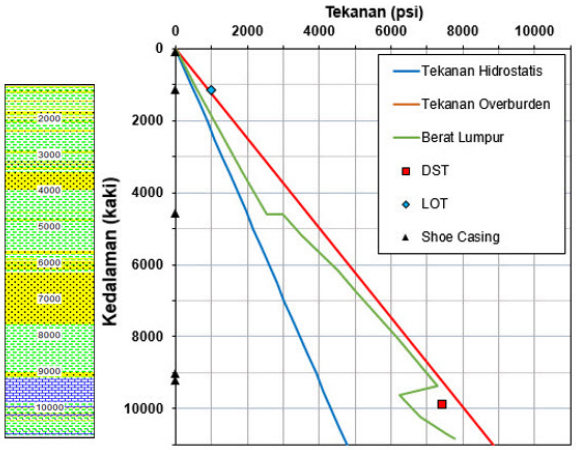
2.1.3 Sumur BEB-1

Sumur BEB-1 berada 1 km dari sumur BST-1 ke arah tenggara. Kedalaman akhir yang didapat adalah 4511 kaki. Seperti sumur BST-1, sumur BEB-1 tidak menghadapi perubahan tekanan berat lumpur yang drastis dan mendadak. Kondisi sumur BEB-1 dapat dikatakan normal (**Gambar 5**).

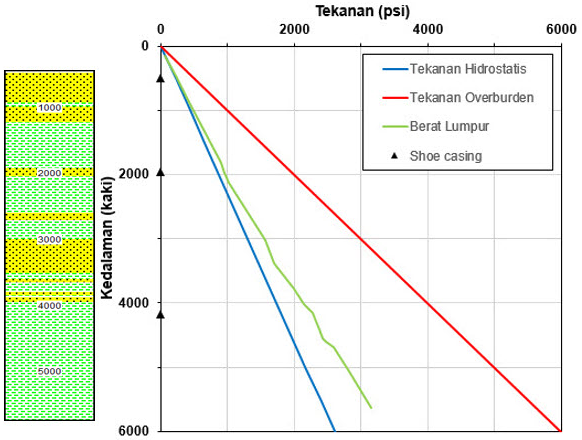
2.1.4 Sumur BAS-A1

Sumur BAS-A1 terletak di sisi paling selatan dari daerah penelitian. Kedalaman akhir yang didapat adalah 10080 kaki. Berat lumpur dinaikkan pada kedalaman 1000 kaki. Pada kedalaman 4600 – 6000 kaki terjadi kenaikan berat lumpur dan ditunjukkan oleh perbedaan kemiringan garis berat lumpur yang ada. Pada kedalaman 8600 berat lumpur diturunkan drastis (**Gambar 6**). Kemunculan *connection gas* dimulai dari kedalaman 8600 kaki menandakan keberadaan tekanan luap. *Kick* juga ditemukan pada kedalaman 8600 kaki.

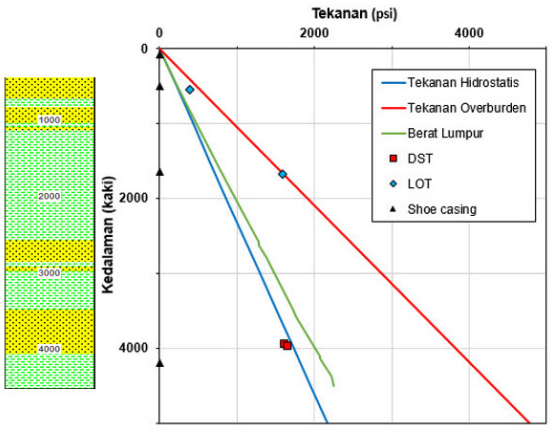
DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5



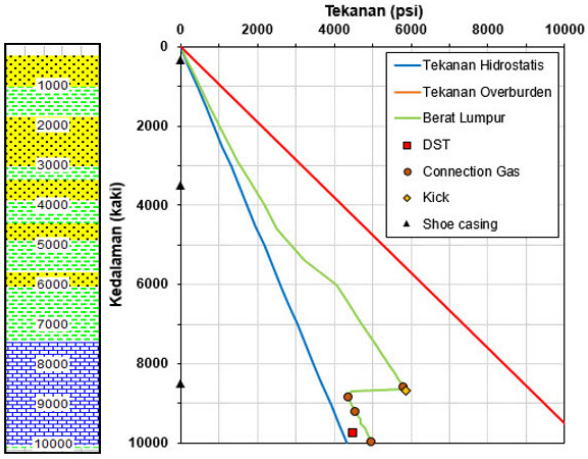
Gambar 3. Profil tekanan – kedalaman pada STD-1.



Gambar 4. Profil tekanan – kedalaman pada BST-1.



Gambar 5. Profil tekanan – kedalaman pada BEB-1.



Gambar 6. Profil tekanan – kedalaman pada BAS-A1.

2.2 Mekanisme Pembentukan Tekanan Luap

Mekanisme pembentukan tekanan luap pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan plot Dutta.

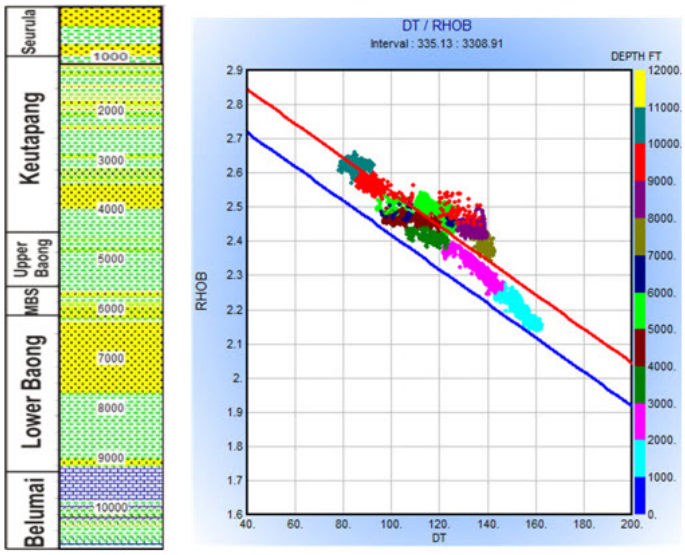
2.2.1 Sumur STD-1

Puncak dari tekanan luap dapat dilihat dari plot log sonik, densitas, dan resistivitas (**Gambar 8**). Log sonik menunjukkan adanya defleksi yang signifikan di interval litologi *shale* pada kedalaman 4100 kaki. Log densitas dan resistivitas menunjukkan gejala defleksi yang serupa. Pada kedalaman 6000 kaki log sonik mengalami pembalikan kembali menuju hidrostatis normal. Hal ini dikarenakan interval pada kedalaman 6000 kaki adalah Formasi Baong Tengah yang *porous*. Fenomena pembalikan ke kurva NCT ini disebut *shoulder effect*. Plot Dutta sumur STD-1 pada **Gambar 7** menunjukkan hal yang sama. Terjadi perpindahan titik-titik data pada kedalaman 4000 kaki ke garis ilit (berwarna merah) dan sesuai dengan **Gambar 8**.

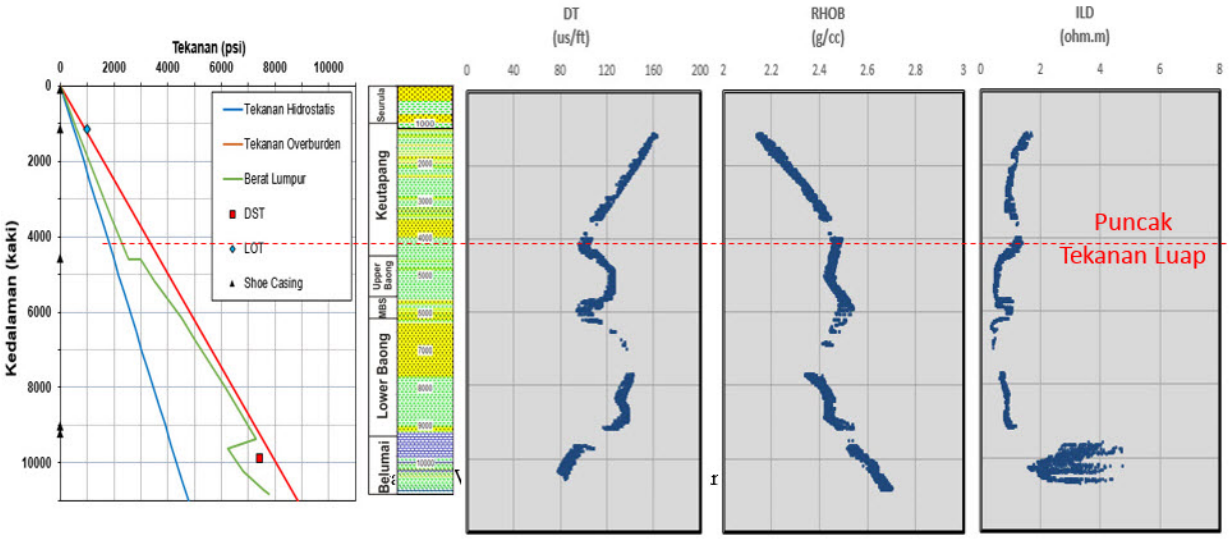
2.2.2 Sumur BST-1

Plot silang Dutta tidak mendeteksi keberadaan tekanan luap akibat mekanisme non-pembebanan. Data-data mulai bergerak menjauhi garis smektit tapi pada kedalaman 4000 kaki kumpulan data mulai bergerak kembali ke garis smektit (**Gambar 9**). Hal ini berarti bahwa sumur BST-1 tidak diakibatkan oleh mekanisme non-pembebanan. Puncak tekanan luap dideteksi oleh log sonik pada kedalaman 1800 kaki. Akan tetapi, deteksi puncak tekanan luap dengan cara melihat defleksi log sonik tidak sesuai dengan berat lumpur yang ada (**Gambar 10**). Hal ini berarti sumur BST-1 dapat disebut sumur dengan tekanan normal.

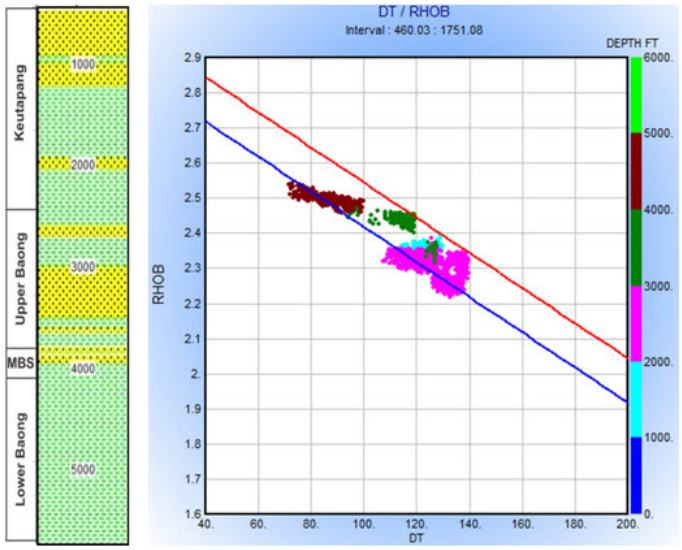
DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5



Gambar 7. Plot silang Dutta antara log sonik dan densitas pada STD-1.

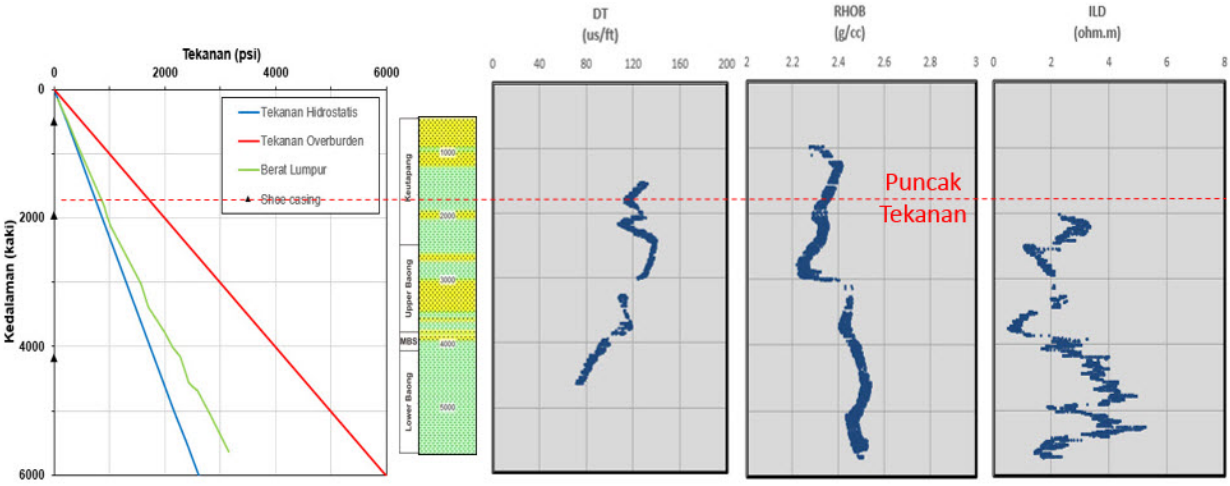


Gambar 8. Penentuan puncak tekanan luap STD-1.



Gambar 9. Plot silang Dutta antara log sonik dan densitas pada BST-1.

DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5



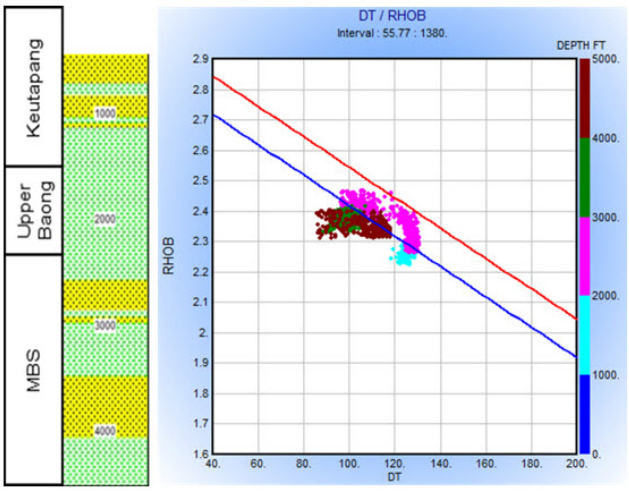
Gambar 10. Penentuan puncak tekanan luap BST-1.

2.2.3 Sumur BEB-1

Plot silang Dutta tidak mendeteksi keberadaan tekanan luap akibat mekanisme non-pembebanan. Data-data mulai bergerak menjauhi garis smektit tapi pada kedalaman 2000 kaki kumpulan data mulai bergerak kembali ke garis smektit hingga kedalaman akhir dicapai (**Gambar 11**). Hal ini berarti bahwa tekanan luap pada sumur BEB-1 tidak diakibatkan oleh mekanisme non-pembebanan. Puncak tekanan luap dideteksi oleh defleksi kecil log sonik pada kedalaman 1600 kaki. Akan tetapi, deteksi puncak tekanan luap dengan cara melihat defleksi log sonik tidak sesuai dengan berat lumpur yang ada (**Gambar 12**). Hal ini berarti sumur BEB-1 juga dapat disebut sumur dengan tekanan normal.

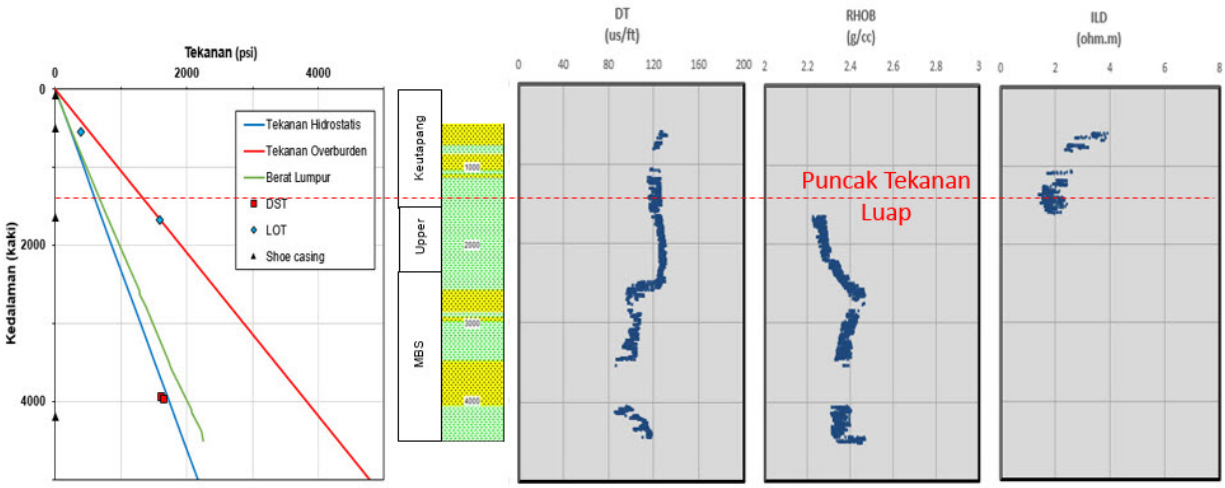
2.2.4 Sumur BAS-A1

Puncak dari tekanan luap dapat dilihat dari plot log sonik, densitas, dan resistivitas. Log sonik menunjukkan adanya defleksi yang signifikan di interval litologi *shale* pada kedalaman 4000 kaki. Log densitas dan resistivitas menunjukkan gejala defleksi yang serupa. Pada kedalaman 6000 kaki log sonik mengalami pembalikan kembali menuju hidrostatis normal. Hal ini karena interval pada kedalaman 6000 kaki adalah Formasi Baong Tengah yang *porous*. Fenomena pembalikan ke kurva NCT dan sama seperti pada sumur STD-1 ini disebut *shoulder effect*. Plot Dutta sumur BAS-A1 pada **Gambar 13** menunjukkan hal yang sama. Terjadi perpindahan titik-titik data pada kedalaman 4000 kaki ke garis ilit (berwarna merah) dan sesuai dengan **Gambar 14**.

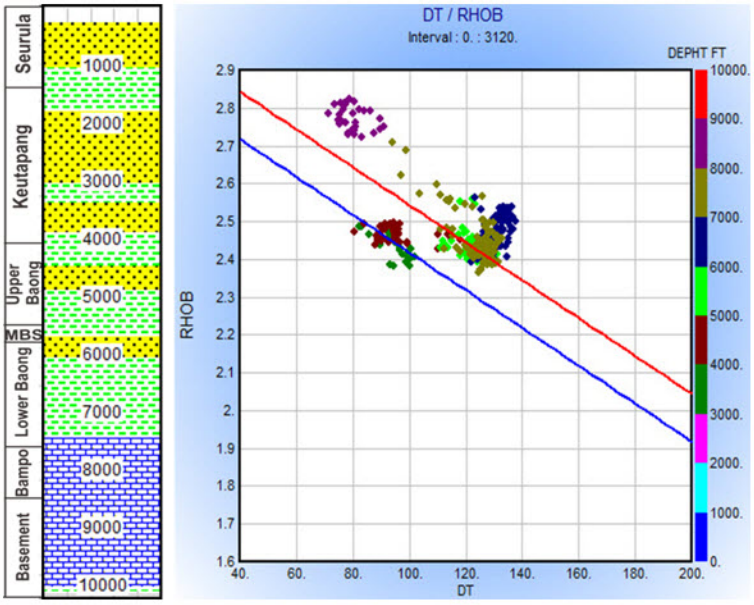


Gambar 11. Plot silang Dutta antara log sonik dan densitas pada BEB-1.

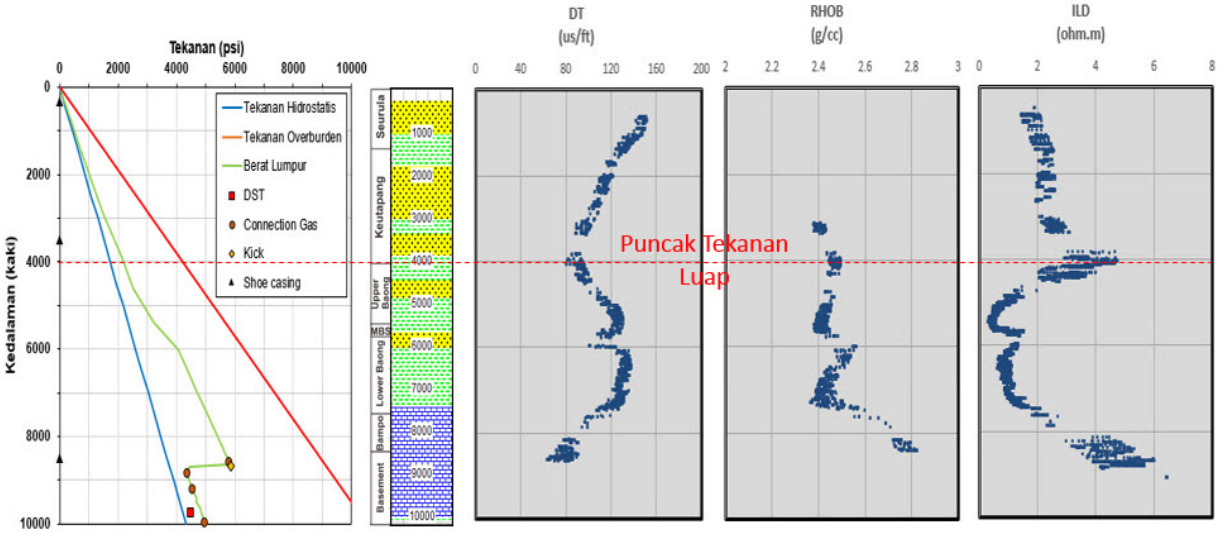
DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5



Gambar 12. Penentuan puncak tekanan luap BEB-1.



Gambar 13. Plot silang Dutta antara log sonik dan densitas pada BAS-A1.



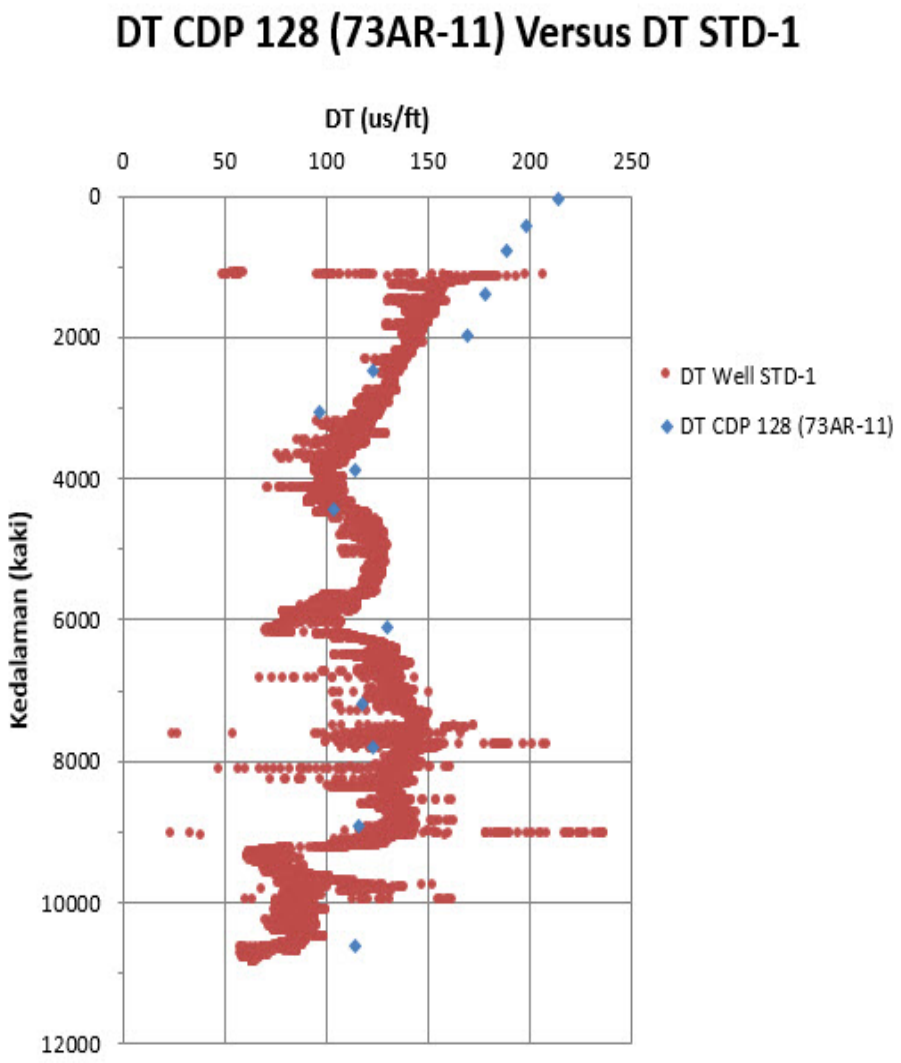
DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5

Gambar 14. Penentuan puncak tekanan luap BAS-A1.

3.3 Estimasi Eaton Menggunakan Data Kecepatan Seismik

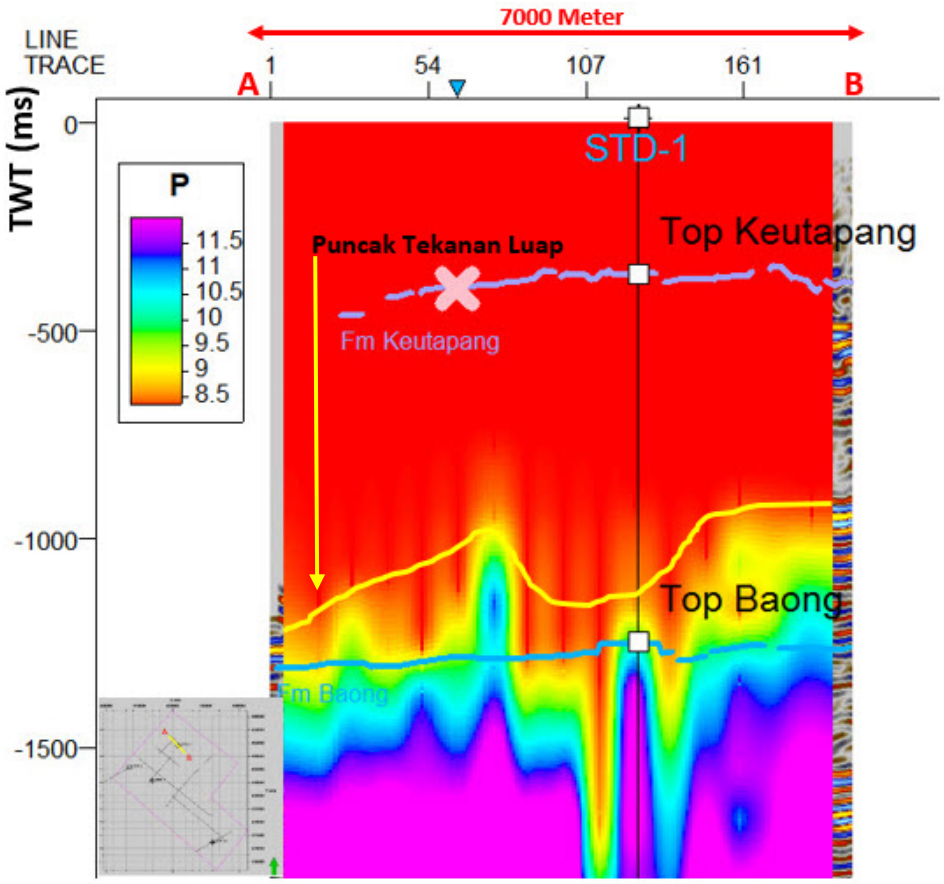
Sumur yang dilalui oleh lintasan 73AR-11 adalah sumur STD-1 pada CDP 128. **Gambar 15** menunjukkan pola kemiripan antara data kecepatan dari log talikawat dengan data kecepatan dari seismik. Pada kedalaman 0 – 2000 kaki terdapat ketidaksesuaian. Ketidaksesuaian ini bisa disebabkan analisis kecepatan yang kurang maksimal pada pemrosesan seismik, akuisisi data seismik yang kurang baik, atau kualitas data pada interval tersebut sangat buruk. Tren pola defleksi pada kedalaman 4000 kaki juga ditunjukkan oleh kecepatan seismik meskipun data seismik relatif tidak rapat. Oleh karena puncak tekanan luap dapat didefinisikan dengan baik oleh log talikawat dan kecepatan seismik, penting untuk melakukan perbandingan dengan CDP di sebelahnya.

Penampang Eaton dalam satuan PPG (*pound per gallon*) di lintasan 73AR-11 ditunjukkan pada **Gambar 16**. Secara kualitatif, puncak tekanan luap berada pada kedalaman sekitar 1000 – 1250 ms atau sekitar 4000 kaki. Puncak tekanan luap (ditandai garis kuning) berada pada Formasi Keutapang bagian bawah dan kadang memotong ke Formasi Baong di bawahnya. Dengan menggunakan metode yang sama di lintasan seismik lainnya, kita dapat membuat peta persebaran tekanan luap (**Gambar 17**).

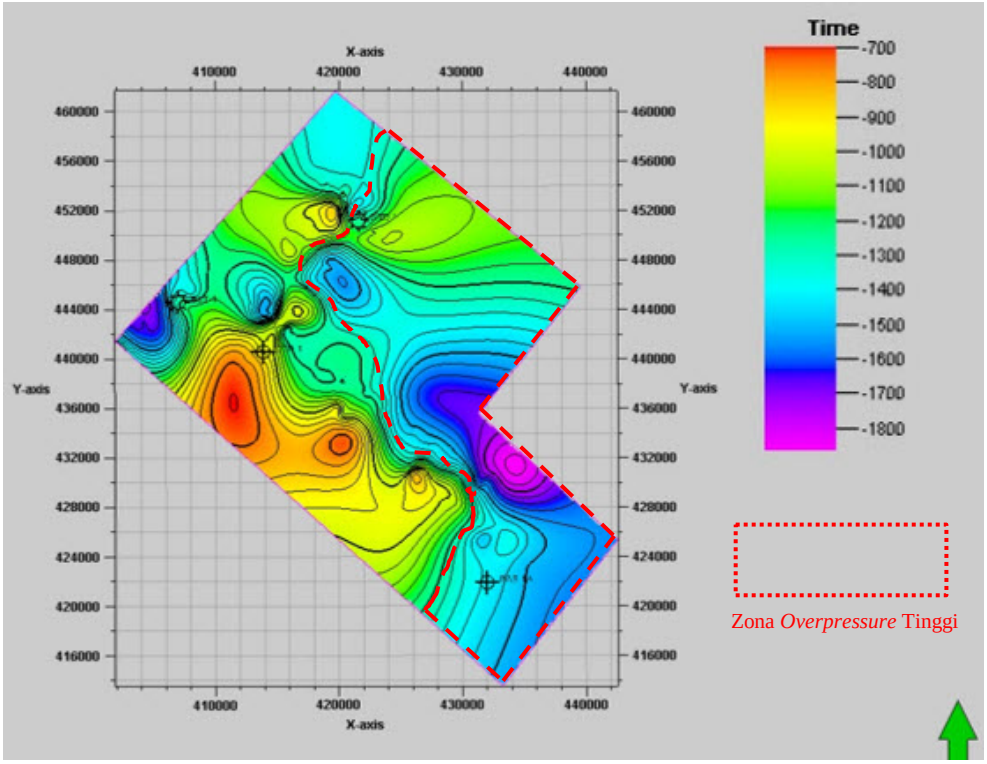


DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5

Gambar 15. Perbandingan data sonik STD-1 dengan data kecepatan seismik 73AR-11.



Gambar 16. Penampang Eaton lintasan seismic 73AR-11 (dalam PPG).



DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5

Gambar 17. Puncak zona tekanan luap pada daerah penelitian. Daerah dibatasi garis putus-putus berwarna merah menunjukkan daerah dengan tekanan luap yang relatif lebih tinggi sementara daerah lainnya cenderung normal pada formasi yang sama.

3. KESIMPULAN

Hipotesis yang dibuktikan dengan melakukan analisis *seismic pore pressure* pada daerah penelitian menghasilkan kesimpulan:

(a) Kecepatan seismik mampu mendeteksi dan memprediksi nilai tekanan luap secara lateral dan sangat baik. Puncak zona tekanan luap menggunakan data kecepatan seismik dapat dilakukan dengan bantuan log sonik pada log talikawat sebagai kontrol. Banyaknya jumlah data kecepatan seismik yang bersesuaian dengan jumlah CDP (*common depth point*) pada lintasan seismik turut menghilangkan ketidakpastian jika perhitungan hanya dilakukan secara interpolasi matematis saja tanpa menghormati dan melihat aspek hubungan secara geologi.

(b) Kecepatan seismik dapat memisahkan daerah yang memiliki tekanan normal dan tekanan luap. Keadaan tekanan luap dicirikan dengan adanya penurunan kecepatan pada data kecepatan seismik. Kondisi geologi seperti perubahan litologi, ketidakseragaman litologi, kehadiran fluida (minyak, gas, dan air) ditunjukkan dengan penurunan kecepatan seismik. Intuisi geologi sangat diperlukan untuk membedakan penurunan kecepatan yang disebabkan oleh kehadiran litologi berbeda dengan kehadiran fluida di zona interval serpih. Adanya penurunan kecepatan pada interval batupasir diinterpretasikan sebagai kehadiran litologi yang berbeda.

(c) Struktur sesar pada daerah penelitian ini berperan sebagai sekat. Pada lintasan seismik yang melalui sumur BEB-1, data kecepatan seismik dapat melihat perbedaan kondisi tekanan pori di dekat puncak Formasi Baong. Perbedaan kondisi tekanan pori di sisi kiri dan kanan sesar dapat memberikan interpretasi geologi dan pemahaman baru tentang kondisi tekanan luap di daerah penelitian. Peran struktur sesar sebagai sekat dapat menjelaskan perbedaan keberadaan puncak tekanan luap yang dilakukan oleh Aziz dan Bolt (1984) di daerah Tinggian Lhok Sukon dengan penelitian di daerah Aru. Struktur sesar menciptakan sistem pembentukan tekanan luap tersendiri terhadap daerah-daerah lainnya yang dibatasi oleh struktur sesar.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, A. dan Bolt, L.H. (1984): Occurrence and detection of abnormal pressures from geological and drilling data, North Sumatra Basin, *Indonesia Petroleum Association 13th Annual Convention Proceedings*, 195-220.

Bowers, G.L. (1995): Pore pressure estimation from velocity data: accounting for overpressure mechanisms besides undercompaction, *SPE Drilling & Completion*, 89-95.

Manik, P. dan Soedaldjo. (1984): Prediction of abnormal pressure based on seismic data. A case study of exploratory well drilling in Pertamina UEP I and UEP II work areas, *Indonesia Petroleum Association 13th Annual Convention Proceedings*, 507-532.

Ramdhan, A.M. (2010): Overpressure and compaction in the Lower Kutai Basin, Indonesia, *Disertasi*. Durham University.

DOI: 10.5614/bull.geol.2017.1.2.5