

IDENTIFIKASI RESERVOIR DAN HIDROKARBON DENGAN MENGUNAKAN METODE *SYNCHROSQUEEZING TRANSFORM*

(Reservoir and Hydrocarbon Identification Using Synchrosqueezing Transform)

Shidqi A. Diria, Humbang Purba, dan Ricky A. Tampubolon

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

E-mail: shidqi_anugrah@lemigas.esdm.go.id;
humbang@lemigas.esdm.go.id; ricky_andrian@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 25 Agustus 2017; Diterima setelah perbaikan tanggal 30 Oktober 2017;

Disetujui terbit tanggal: 31 Desember 2017

ABSTRAK

Karakterisasi reservoir yang menggunakan metode berbasis frekuensi (metode dekomposisi spektral) memberikan informasi tentang kemenerusan reservoir dan hidrokarbon lebih akurat apabila kemampuan resolusi frekuensinya juga baik. Metode dekomposisi spektral *Continuous Wavelet Transform* (CWT) yang berbasis *Transformasi Fourier* menggunakan skala dan translasi *window wavelet* untuk mengkuantifikasi resolusi frekuensinya. Metode tersebut seringkali digunakan dalam indikator zona reservoir dan hidrokarbon namun masih memiliki resolusi frekuensi yang kurang akurat sehingga frekuensi zona reservoirnya pun *overlapping* dengan zona non-reservoir. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan resolusi frekuensinya sehingga informasi tentang reservoir dan indikasi hidrokarbon lebih valid. *Synchrosqueezing Transform* (SST) merupakan metode dekomposisi spektral yang lebih kompleks karena mengkolaborasi metode *Empirical Mode Decomposition* (EMD) dan Transformasi Hilbert dengan metode CWT. Sinyal didekomposisi dengan metode EMD, lalu diproses dengan penskalaan dan translasi *window wavelet* menggunakan metode CWT, kemudian dilakukan ekstrak frekuensi sesaatnya menggunakan Transformasi Hilbert sehingga sensitivitasnya meningkat. Metode SST dan CWT diaplikasikan pada data sintetik untuk mengetahui akurasi pemisahan frekuensi. Selanjutnya, metode-metode ini diaplikasikan pada data seismik dan data sumur SNR-1 dan SRI-1 sebagai kalibrator. Hasilnya menunjukkan bahwa metode SST mampu mengidentifikasi frekuensi reservoir dan hidrokarbon dengan baik dibandingkan dengan metode CWT. Respon kemenerusan reservoir dan potensi hidrokarbon ditunjukkan dengan amplitudo tinggi pada frekuensi 20 Hz.

Kata Kunci: *Synchrosqueezing transform, continuous wavelet transform, S-transform*, karakterisasi reservoir, frekuensi

ABSTRACT

A frequency-based method (sepctral decomposition) can provide accurate information dealing with reservoir and hydrocarbon indication if its frequency resolution is accurate. Spectral decomposition method such as Continuous Wavelet Transform (CWT) built on Fourier Transform which uses scale and translation of wavelet to quantify its frequency resolution. However, it occur ambiguous frequency resolution so that tunning frequency of reservoir

and non-reservoir are overlapping. This study was conducted to increase the frequency resolution in order to avoid invalid information of reservoir and hydrocarbon indication. Synchrosqueezing Transform (SST) is a more complex algorithm than CWT because it collaborates the Empirical Mode Decomposition (EMD) and Hilbert Transform with CWT method. Initiated by signal decomposition process then continued to scaling and translation of wavelet window in CWT phase. The final stage is to extract the instantaneous frequency using Hilbert Transform in order to obtain more sensitive frequency resolution. SST and CWT method were implemented to synthetic data to know each of frequency separation accuracy. Furthermore, these methods were also applied to seismic data and well data SNR-1 and SRI-1 as calibrator. The result showed that the SST method was robust to identify the reservoir and hydrocarbon indication better than CWT method. Reservoir and hydrocarbon response are detected on high amplitude which is tuned at the frequency 20 Hz.

Keywords: Synchrosqueezing transform, continuous wavelet transform, S-transform, reservoir characterisation, frequency

I. PENDAHULUAN

Kajian metode seismik untuk pengembangan eksplorasi minyak dan gas bumi semakin pesat. Data seismik dalam domain waktu masih belum dapat memberikan informasi adanya zona-zona reservoir dan indikasi hidrokarbon secara langsung. Partyka (1999) mengusulkan metode dekomposisi spektral, yaitu metode menguraikan spektrum sinyal seismik dari domain waktu ke domain frekuensi untuk mengetahui karakter sinyal tersebut. Salah satu jenis metode dekomposisi spektral, yaitu *Continuous Wavelet Transform* (CWT) mampu membuktikan adanya indikasi keberadaan hidrokarbon pada anomali frekuensi rendah (Burnett dkk. 2003 dan Sinha dkk. 2005). Saadatinejad (2013) dan Butorin (2016) masing-masing mengaplikasikannya untuk mengevaluasi reservoir hidrokarbon dan interpretasi geologi. Namun kemampuan metode tersebut masih kurang akurat dalam menguraikan sinyal *non-stationer* (sinyal kompleks) dan meresolusi frekuensi (pemisahan frekuensi yang berbeda) karena rentang frekuensinya terlalu lebar. Apabila diaplikasikan dalam menentukan frekuensi reservoir, maka akan terjadi *overlapping* terhadap frekuensi non-resevoirnya.

Penelitian ini mengembangkan aplikasi metode *Synchrosqueezing Transform* (SST) dengan konsep transformasi yang lebih kompleks untuk meningkatkan kemampuan resolusi frekuensi. Metode SST merupakan pengembangan dari metode *Empirical Mode Decomposition* (EMD) dan Transformasi Hilbert-Huang yang membangun komponen-komponen sinyal secara matematis (Huang dkk, 1998, Wu dkk, 2011 dan Daubechies dkk, 2011) yang dikolaborasi dengan metode CWT. Tahapan metode SST dimulai dari penguraian sinyal *non-stationer* menjadi komponen individual yang disebut *Intrinsic Mode Function* (IMF).

Komponen-komponen sinyal tersebut diskalakan dan ditranslasikan dengan menggunakan *wavelet* pada tahapan metode CWT sesuai dengan persamaan:

$$W_x(a, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-T}{a} \right) dt \quad (1)$$

Dengan ketentuan (t) adalah *wavelet* (gelombang kecil seismik), menyimbolkan kompleks konjugasi dari (t), T adalah waktu geser pada *wavelet* dengan penskalaan a . Pada metode CWT, terjadi korelasi silang sederhana sinyal fungsi yang mengandung sejumlah *wavelet* yang sudah terskala dan translasi terhadap *wavelet* aslinya. merupakan koefisien yang mewakili hasil analisis dan akan digunakan dalam mengekstrak frekuensi sesaat. Namun, koefisien seringkali mengalami deviasi sehingga resolusi dalam skala waktu menjadi buruk berupa *smear*. Daubechies dan Maes (1996) menunjukkan jika efek *smear* tersebut dapat diabaikan, sehingga frekuensi sesaat dapat dihitung berdasarkan penurunan transformasi *wavelet* pada setiap titik (a, t) dimana.

$$\omega_x(a, t) \neq 0$$

$$\omega_x(a, t) = -i(W_x(a, t))^{-1} \frac{\partial}{\partial t} W_x(a, t) \quad (2)$$

Dari proses ini dihasilkan frekuensi-waktu baru yang memetakan seluruh bidang skala waktu. Setiap titik (t, a) diubah menjadi ($t, \omega_x(a, t)$), dan proses ini dinamakan *Synchrosqueezing*. Proses *synchrosqueezing* mensubstitusi koefisien dari CWT untuk memperoleh *image* yang lebih fokus sehingga diharapkan mampu meningkatkan sensitivitas dan resolusi frekuensi yang lebih baik.

Aplikasi metode SST diawali dengan pengujian data sintetik dan membandingkannya dengan metode CWT. Selanjutnya, diaplikasikan pada

data real (17 lintasan data seismik) di lapangan gas KA. Pada penampang seismik, keberadaan hidrokarbon dan reservoir ditandai dengan amplitudo tinggi pada frekuensi rendah dan akan dibuktikan dengan data *log*, data DST, dan data produksi di sumur SNR-1 dan SRI-1.

A. GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

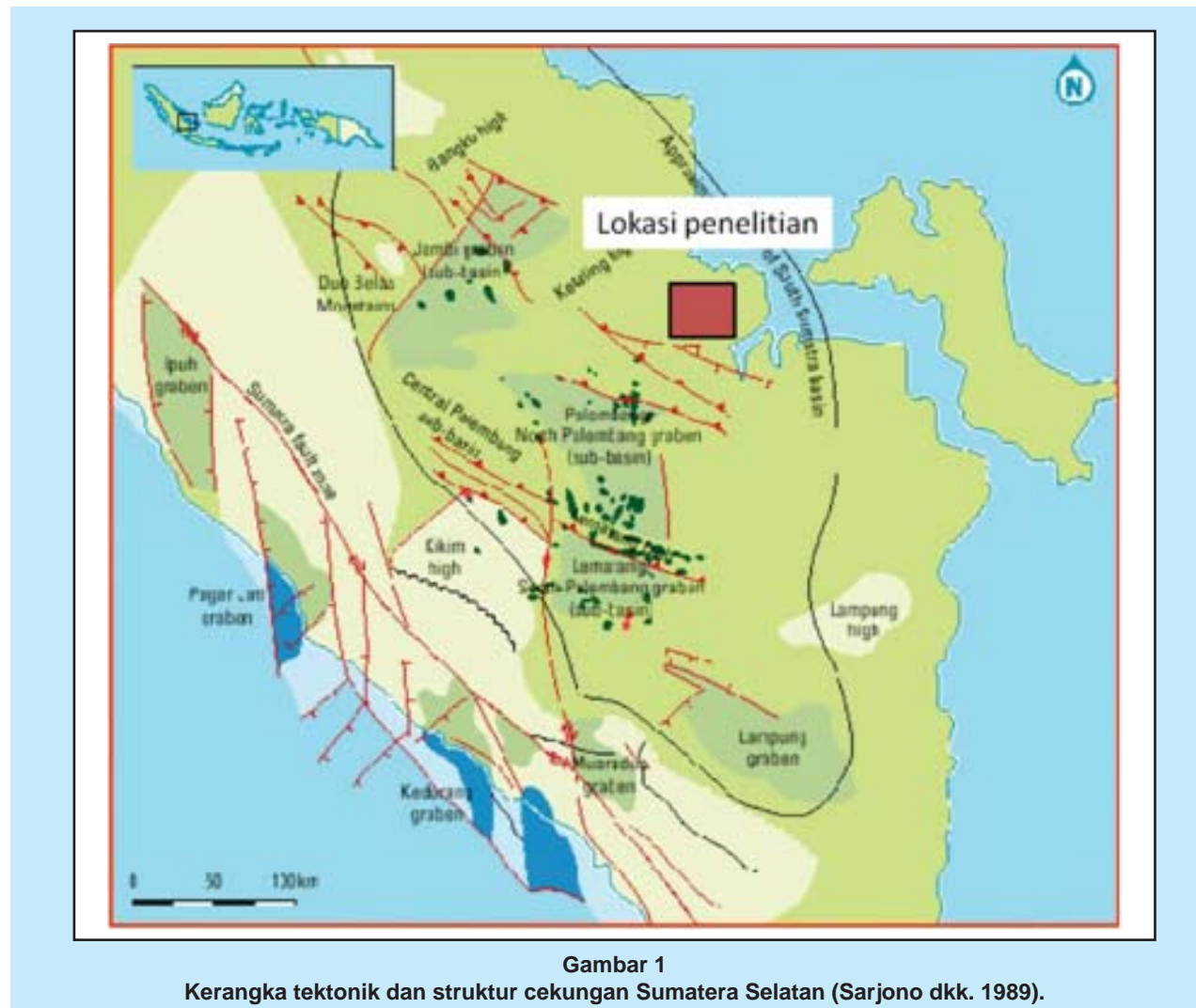
1. Tektonik dan Struktur

Daerah penelitian terletak di Sub Cekungan Palembang Utara, Cekungan Sumatera Selatan. Morfologi bawah permukaannya menunjukkan bahwa sebelah utara terdapat dataran tinggi Sembilan dan sebelah selatan merupakan dataran rendah yang dibatasi oleh patahan normal dengan arah barat-laut-tenggara (Gambar 1). Evolusi struktur yang terjadi selama waktu Tersier terbagi menjadi tiga fase. Tahap pertama, yaitu ekstensi yang terjadi sejak periode *Paleocene* hingga *Miocene* Awal. Tahap ini diikuti oleh formasi dari sesar normal dan *graben* yang kemudian terisi oleh proses sedimentasi selama

periode *Eocene* hingga *Miocene* Awal. Struktur sesar *graben* berarah timur-barat juga memiliki indikasi sesar pada batuan dasar. Tahap kedua, terjadi sesar normal pada *Miocene* Awal hingga *Pliocene* Awal. Pada periode ini, beberapa lokasi di Cekungan Sumatera Selatan terjadi sedimentasi yang tebal dari Formasi Telisa ke arah selatan. Tahap ketiga, terjadi kompresi secara regional pada periode *Mio-Pliocene* yang ditandai dengan normal *strike-slip faults* dengan arah barat-laut-tenggara. Kompresi ini diperkirakan berkepanjangan dan mencapai klimaks selama periode *Plio-Pleistocene* dan hal ini menyebabkan terjadinya pelipatan di beberapa formasi yang sudah ada.

2. Stratigrafi Daerah Penelitian

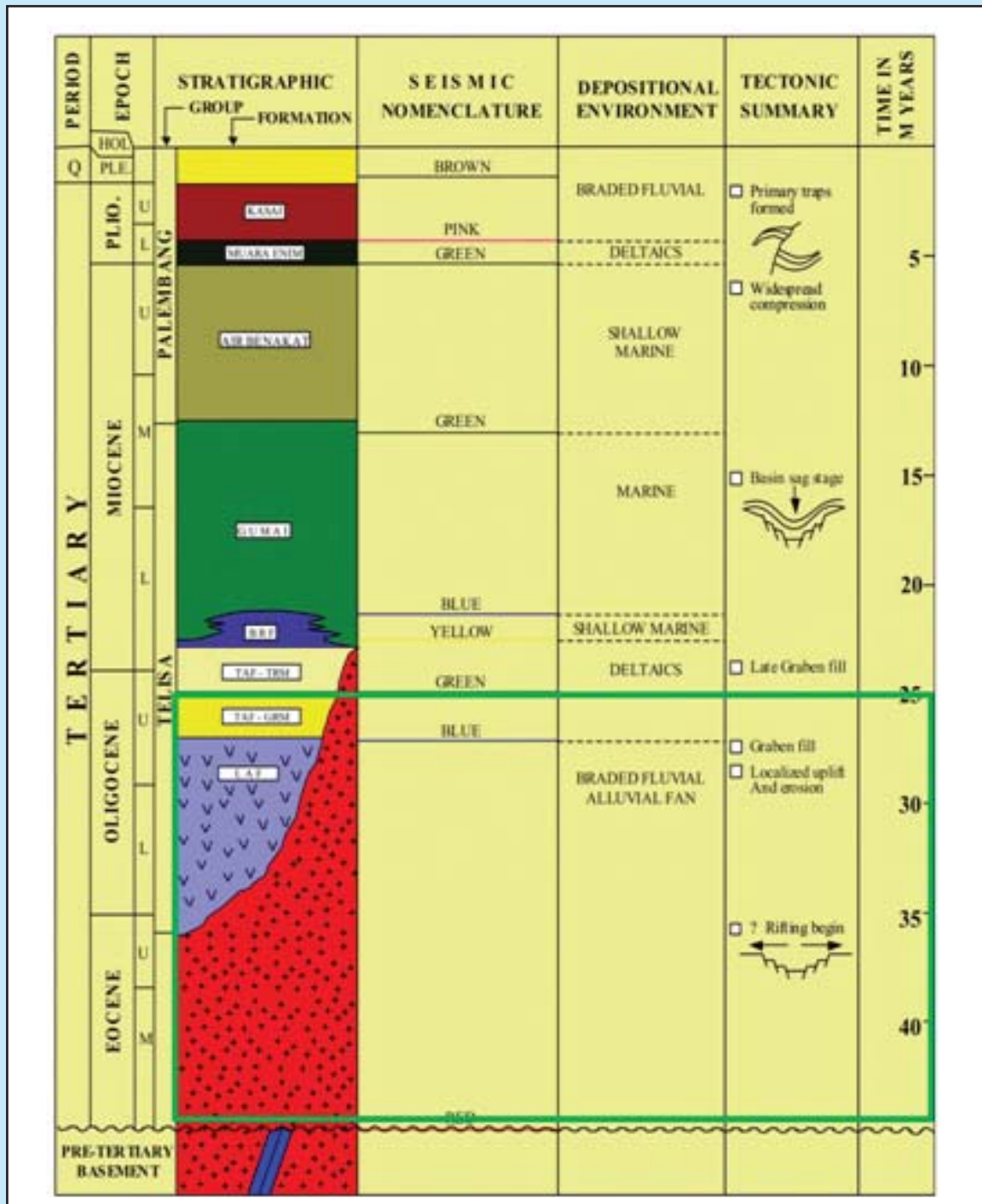
Menurut De Coster (1974) dan Sarjono, dkk (1989), stratigrafi regional Cekungan Sumatera Selatan terdiri atas dua grup sedimen Tersier, yaitu grup Telisa dan grup Palembang. Grup Telisa terdiri atas empat formasi, yaitu Formasi Lahat/Lemat, Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja,



Gambar 1
Kerangka tektonik dan struktur cekungan Sumatera Selatan (Sarjono dkk. 1989).

dan Formasi Gumai. Grup Palembang terdiri atas tiga formasi, yaitu Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim dan Formasi Kasai (Gambar 2). Formasi yang menjadi target penelitian, yaitu Formasi Talang Akar dan Formasi Lemat (batupasir) sebagai reservoir yang termasuk ke dalam bagian grup Telisa. Formasi Lemat berumur *Eocene-Oligocene* dengan lingkungan pengendapan darat

seperti endapan *alluvial*. Formasi ini merupakan sedimen *unconformity* yang posisinya berada di atas batuan dasar. Formasi Talang Akar (*Gritsand Member*) terendapkan di atas Formasi Lemat secara tidak selaras. Bagian atas terdiri atas serpih, batu gamping, dan batupasir yang mengandung batubara yang disebut *Transitional Member*. Periode pengendapan terjadi mulai periode *Oligocene* Akhir



Gambar 2 Kolom stratigrafi cekungan Sumatera Selatan (Coster 1974). formasi Talang Akar dan formasi Lemat sebagai target reservoir (kotak hijau).

hingga *Miocene* Awal. Batuan yang dianggap sebagai *source rock* yaitu batuan serpih dan batubara yang berasal dari Formasi Talang Akar dan Lemat. Proses pematangan hidrokarbon diperkirakan berlangsung antara periode *Miocene* Akhir hingga *Pliocene* pada kedalaman sekitar 5500 *feet*. Formasi Talang Akar tertimbun oleh sedimen tebal dari Formasi Baturaja, Formasi Gumai, dan Formasi Air Benakat.

II. BAHAN DAN METODE

Gambar 3 merupakan alur kerja penelitian dengan melalui dua tahap utama, yaitu pengujian data sintetik dan data *real*. Pengujian data sintetik dilakukan untuk mengetahui kemampuan metode CWT dan SST dalam menghasilkan resolusi frekuensi yang akurat. Kemudian pada tahap selanjutnya kedua metode tersebut diaplikasikan dalam data *real* (lapangan) untuk mengetahui secara lateral kemenerusan reservoir dan hidrokarbon melalui pengamatan amplitudo-amplitudo yang tinggi.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisis Data Sintetik

Data sintetik dibuat dari persamaan gelombang sinyal *non-stasioner* dan superposisi empat sinyal

dengan komponen frekuensi yang berbeda. mulai dari frekuensi rendah 25 Hz hingga frekuensi tinggi 100 Hz dan dinyatakan dalam persamaan:

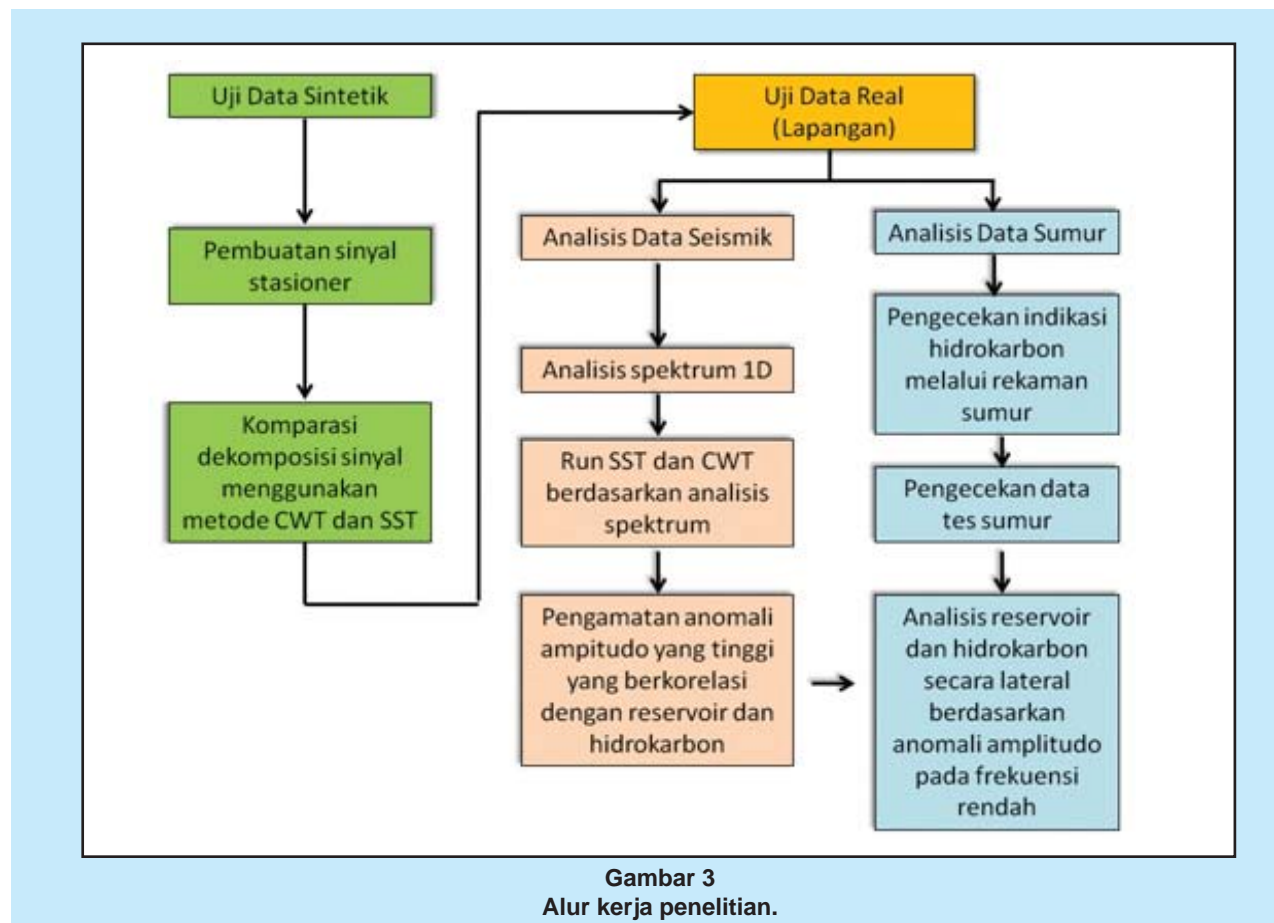
$$x_1(t) = 0.6 \sin(2\pi f_1 t) \quad ; f_1 = 25 \text{ Hz}$$

$$x_2(t) = 0.8 \cos(2\pi f_2 t) \quad ; f_2 = 50 \text{ Hz}$$

$$x_3(t) = \sin(2\pi f_3 t) \quad ; f_3 = 75 \text{ Hz}$$

$$x_4(t) = 1.2 \cos(2\pi f_4 t) \quad ; f_4 = 100 \text{ Hz}$$

Gambar 4a menunjukkan kurva amplitudo superposisi sinyal terhadap waktu dengan rentang waktu 0-0.5 milisekon, 0.5-1.0 milisekon, 1.0-1.5 milisekon, dan 1.5-2.0 milisekon untuk masing-masing sinyal berfrekuensi 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz, dan 100 Hz. Sinyal tersebut ditransformasi masing-masing menggunakan metode CWT dan SST yang dinyatakan dalam kurva frekuensi terhadap waktu. Pada Gambar 4b, analisis metode CWT menunjukkan adanya pelebaran rentang frekuensi (panah hitam) sehingga resolusi frekuensinya pun rendah. Kurva frekuensi terhadap normalisasi amplitudo (*normalized amplitude*) juga menunjukkan grafik yang kontinu (tidak fokus). Apabila zona reservoir dan non-reservoir berada di kedalaman



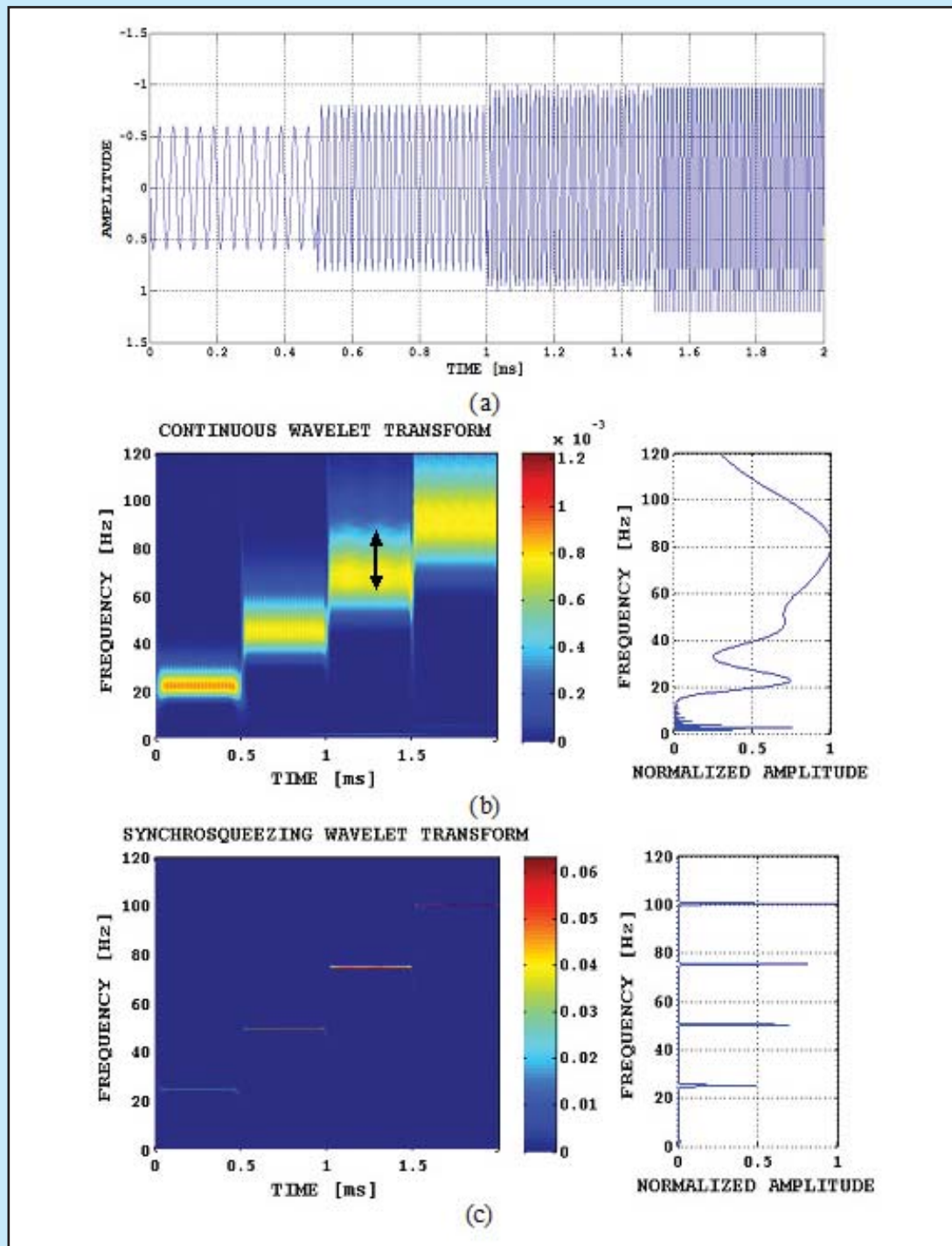
Gambar 3 Alur kerja penelitian.

1.2 – 1.4 sekon, maka metode CWT memberikan informasi frekuensi reservoir yang ambigu. Metode SST menunjukkan resolusi frekuensi yang lebih tajam dan distribusi amplitudo yang lebih fokus dalam penguraian sinyal (Gambar 4c). Hasil ini menunjukkan kemampuan metode SST lebih akurat dan fokus dalam resolusi frekuensi sehingga

informasi reservoir dan hidrokarbon dalam domain frekuensi lebih baik dibandingkan dengan metode CWT.

B. Analisis Data Real

Data lapangan yang digunakan, yaitu lintasan seismik sebanyak 17 lintasan dengan *vintage* tahun

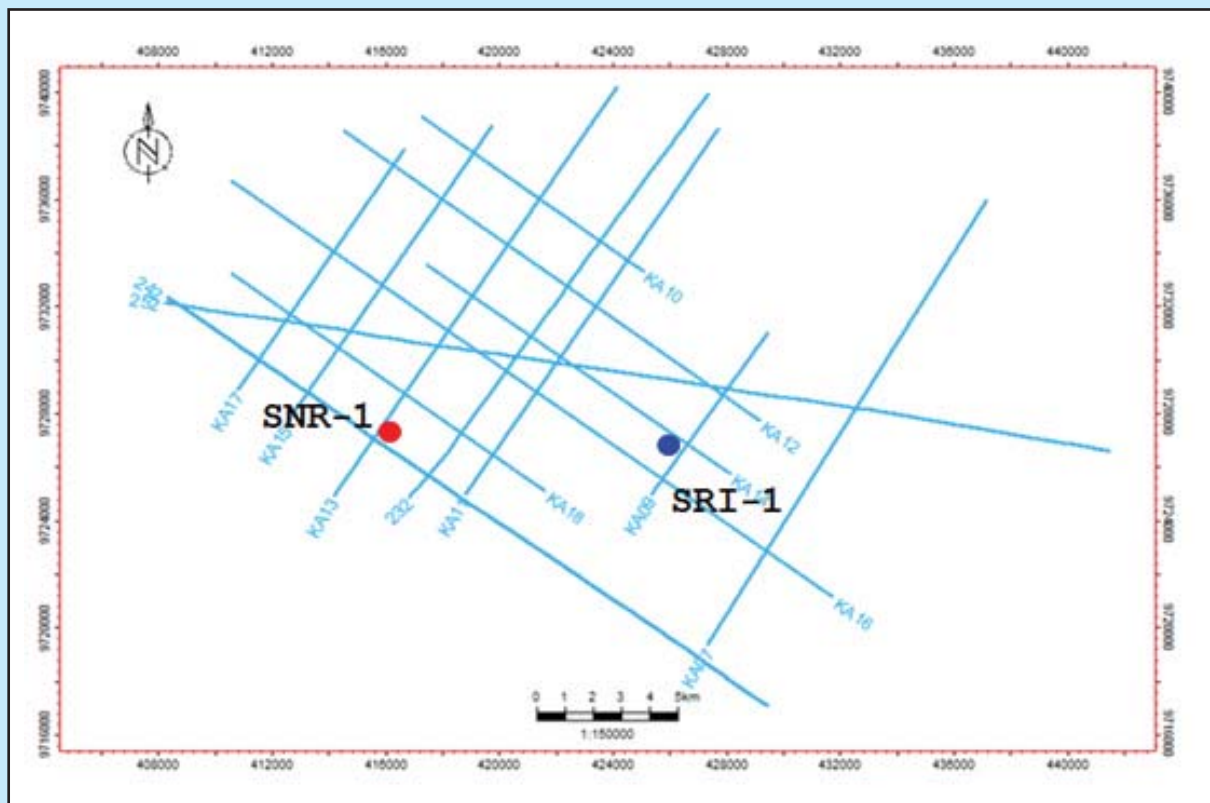


Gambar 4
 (a) Grafik superposisi sinyal *non-stasioner*
 (b) Analisa 1D frekuensi-waktu metode CWT dan (c) metode SST.

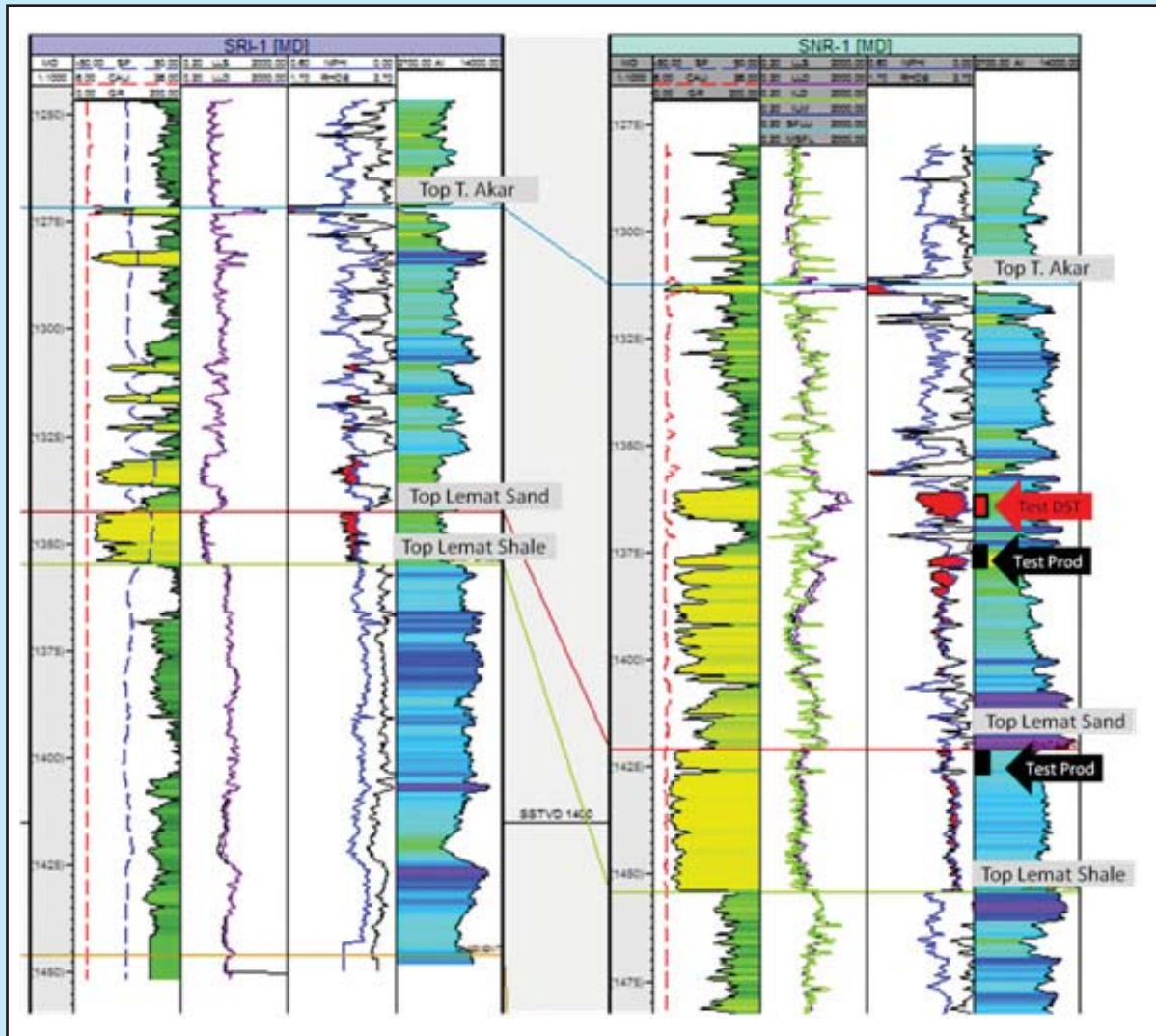
1991 (Gambar 5) dan dua sumur, yaitu SNR-1 yang berada pada lintasan seismik KA-13 dan sumur SRI-1 berada di lintasan seismik KA-14. Rekaman sumur SNR-1 menunjukkan adanya separasi antara rekaman log *Density* (RHOB) dengan log *Neutron-Porosity* (NPHI) di reservoir batupasir Lemat pada kedalaman 1421 - 1353 meter dan reservoir batupasir Formasi Talang Akar pada kedalaman 1358 - 1363 meter. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan hidrokarbon minyak atau gas, atau kombinasi keduanya. Di reservoir batupasir Formasi Lemat dilakukan tes produksi pada kedalaman 1421 - 1423 meter yang hasilnya menunjukkan adanya aliran minyak sebesar 18.87 bbl, air sebesar 0.79 bbl, dan gas dalam jumlah kecil. Di reservoir batupasir Formasi Talang Akar dilakukan tes DST (*Drill Stem Test*) pada kedalaman 1358 - 1363 meter yang menunjukkan adanya aliran gas sebesar 8.389 MMCFPD. Selain itu tes produksi juga dilakukan pada kedalaman 1383 - 1386 dan menunjukkan adanya aliran gas 6.401 MMCFPD. Pada sumur SRI-1, target reservoir batupasir Formasi Lemat berada di kedalaman 1342.5 - 1355 meter dan reservoir batupasir Formasi Talang Akar di kedalaman 1332 - 1336.5 meter. Tren separasi terjadi pula di kedalaman tersebut, namun tidak ada data

tes DST maupun tes produksi untuk pembuktian keberadaan hidrokarbon.

Interpretasi seismik dilakukan dengan menggunakan empat *marker horizon*, yaitu *Top Talang Akar*, *Top Lemat Sandstone*, *Top Lemat Shale*, dan *Basement*. Interpretasi pada penampang seismik KA-13 yang berarah baratdaya-timurlaut (SW-NE) menunjukkan adanya pelipatan, sesar naik, sesar turun dan *half graben* yang membentuk pusat cekungan (tempat pembentukan hidrokarbon). Hal ini menandakan adanya periode ekstensi dan kompresi yang berarah baratdaya-timurlaut. Hidrokarbon bermigrasi dan kemudian terakumulasi di struktur *antiklinal* posisi sumur SNR-1 (Gambar 7). Pada penampang seismik lintasan KA-14 yang berarah baratlaut-tenggara (NW-SE) menunjukkan adanya *graben* dan sesar normal. Pada *graben*, sedimennya relatif lebih tebal sehingga berpotensi untuk *source rock* dan hidrokarbon dapat bermigrasi melalui jalur sesar normal tersebut. Di sebelah tenggara sumur SRI-1 terdapat pula dalam yang jaraknya lebih dekat ke sumur. Dalam tersebut memberikan peluang untuk terbentuknya hidrokarbon dan bermigrasi ke arah struktur tinggian sumur SRI-1 (Gambar 8).



Gambar 5
Basecamp lintasan seismik dan posisi sumur SNR-1 dan SRI-1

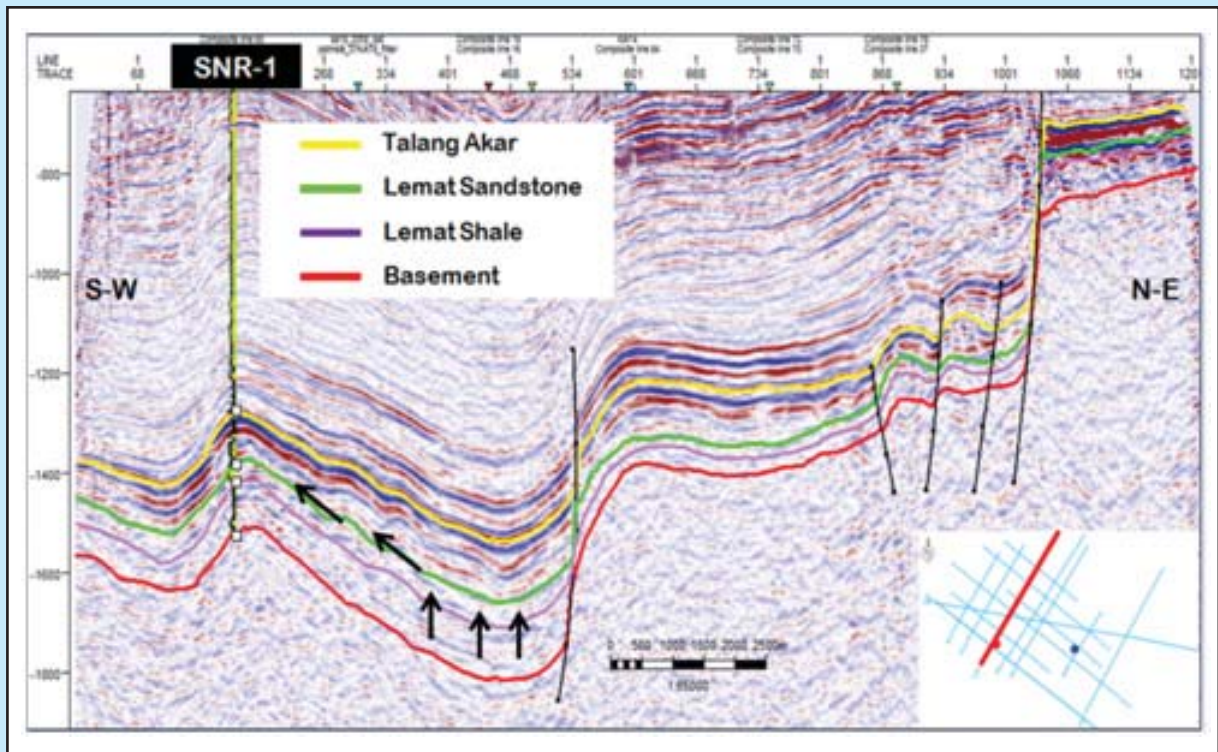


Gambar 6
Rekaman dan korelasi antara sumur SNR-1 (kanan) dan SRI-1 (kiri). Rekaman log density dan log Neutron-Porosity menunjukkan yang berasosiasi dengan keberadaan hidrokarbon. Hal ini dibuktikan dengan hasil tes DST dan tes produksi di sumur SNR-1.

Untuk menentukan frekuensi reservoir, dilakukan analisis 1D frekuensi-waktu terhadap *trace* seismik yang melewati sumur SNR-1 dan SRI-1 (Gambar 9). Pada kedalaman 1250 milisekon, yaitu interval Formasi Talang Akar (garis merah), reservoir batupasir dengan jumlah akumulasi gas sedikit memberikan amplitudo rendah pada frekuensi 20 Hz untuk kedua metode. Pada kedalaman 1380 milisekon, masih di Formasi Talang Akar, amplitudonya lebih tinggi seiring dengan akumulasi gas yang lebih besar dibandingkan dengan reservoir sebelumnya. Namun untuk reservoir batupasir yang terakumulasi dengan minyak pada Formasi Lemat, respon amplitudonya sangat rendah. Hal ini disebabkan minyak memiliki kemampuan absorpsi frekuensi yang rendah. Daya absorpsi dipengaruhi

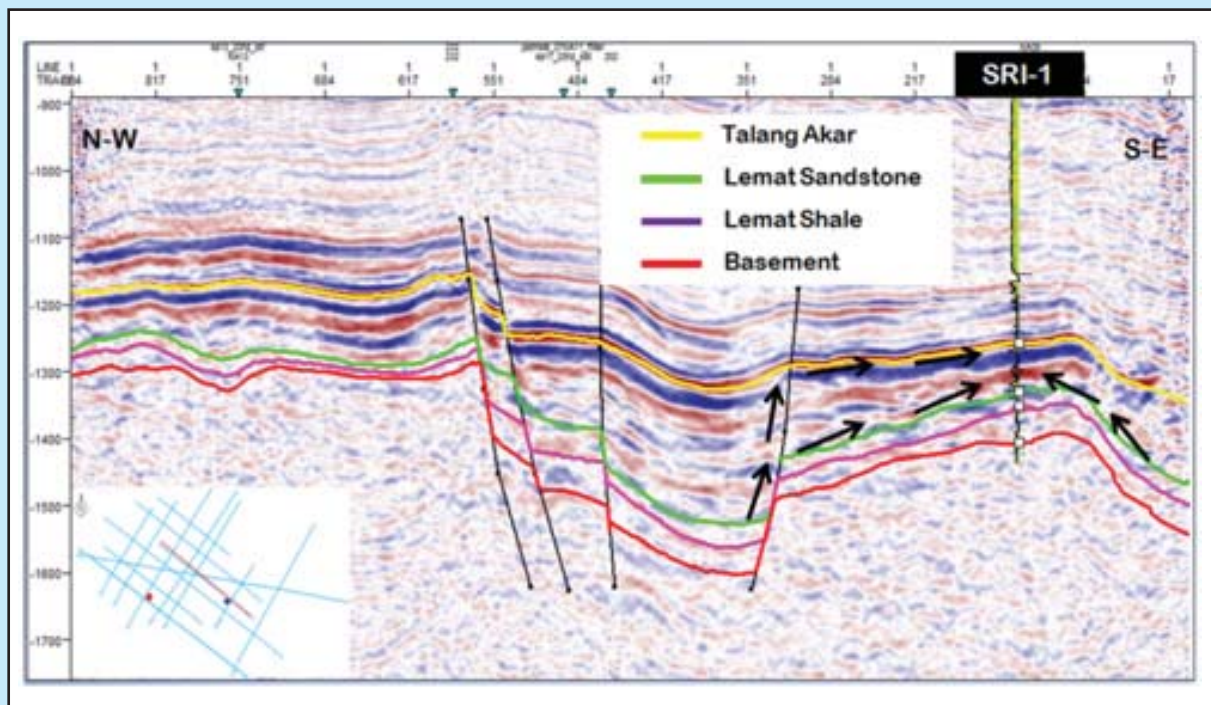
oleh jenis fluida yang mengisi pori batuan. Gas yang mengisi pori batuan memiliki daya absorpsi yang lebih besar dibandingkan minyak atau air. Semakin besar daya absorpsi semakin tinggi amplitudo yang ditimbulkan pada frekuensi rendahnya.

Analisis frekuensi 20 Hz dilakukan pada seluruh *trace* seismik untuk melihat kemenerusan reservoir yang terkumulasi hidrokarbon. Analisis frekuensi 20 Hz (metode CWT) pada lintasan seismik KA-13 (Gambar 10b) menunjukkan amplitudo yang tinggi pada zona reservoir dan non-reservoir. Hal ini menimbulkan ambiguitas dalam menentukan zona reservoir yang sesungguhnya. Sebaliknya pada metode SST menunjukkan amplitudo tinggi dan lebih fokus serta akurat pada zona reservoir yang jumlah akumulasi gasnya besar. Pada reservoir batupasir



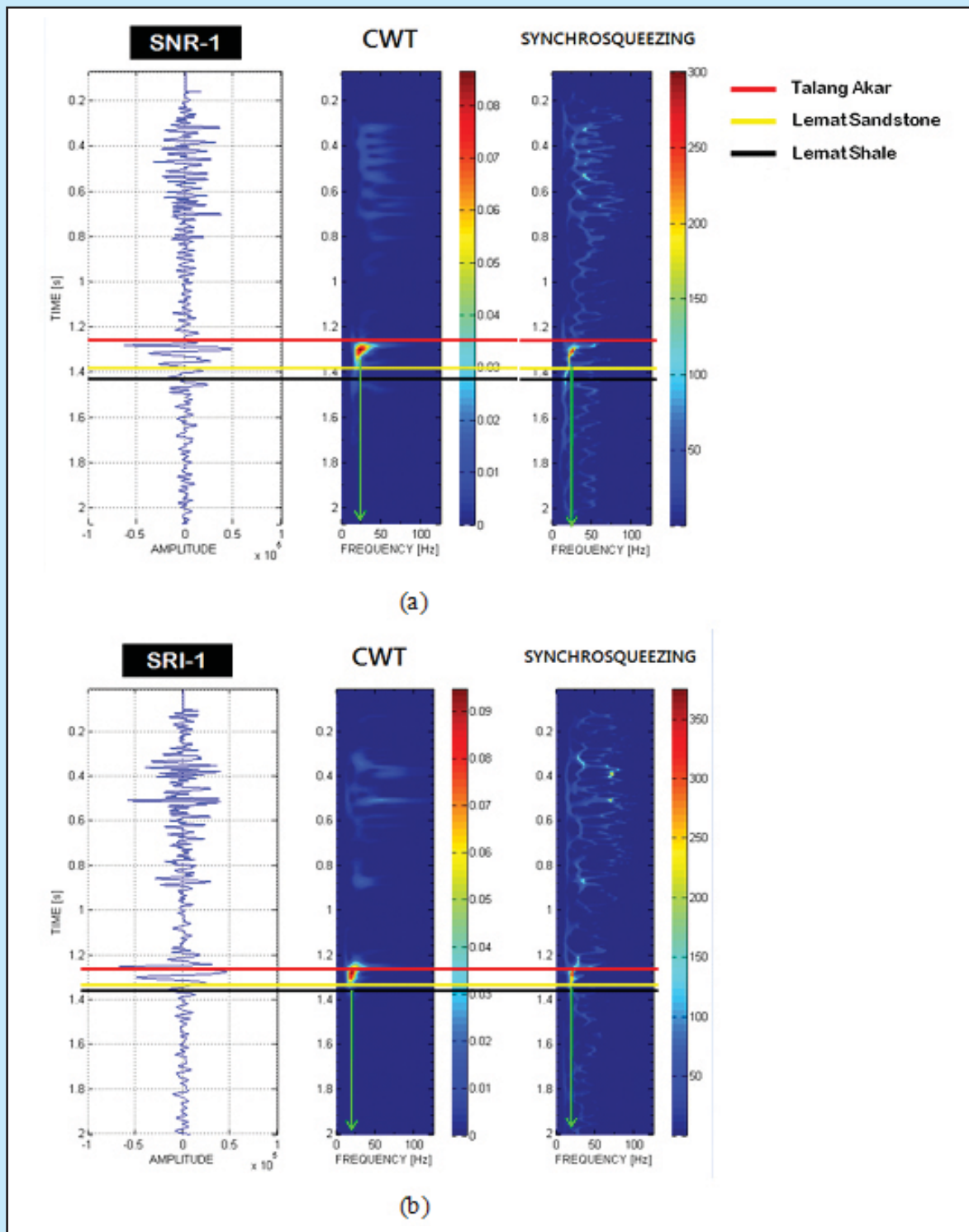
Gambar 7

Interpretasi seismik pada lintasan seismik KA-13. *Half grabben* menjadi pusat cekungan yang berpotensi sebagai *source rock*. Hidrokarbon bermigrasi secara vertikal dan lateral serta terakumulasi di struktur antiklinal di posisi sumur SNR-1.



Gambar 8

Interpretasi seismik pada lintasan seismik KA-14. *Half grabben* di sebelah baratlaut (NW) dan dalam di sebelah tenggara sumur SRI-1 berpotensi sebagai *source rock*. Hidrokarbon berpotensi bermigrasi melewati jalur sesar normal maupun berasal dari dalam sebelah tenggara menuju struktur tinggian sumur SRI-1.

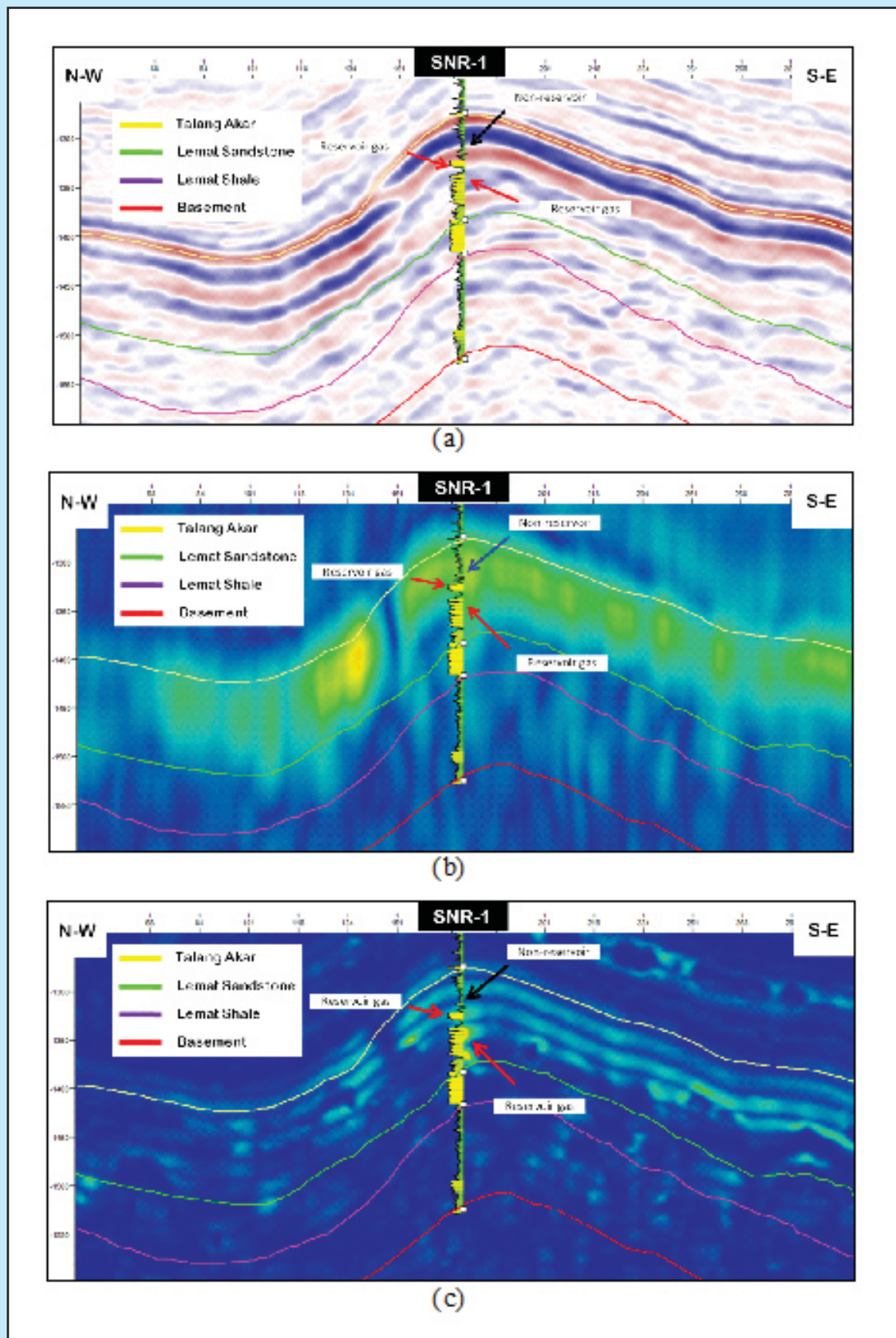


Gambar 9
Analisa kurva frekuensi terhadap waktu pada lever reservoir batupasir formasi Talang Akar dan formasi Lemat. Amplitudo tinggi menunjukkan adanya akumulasi gas yang besar pada reservoir tersebut.

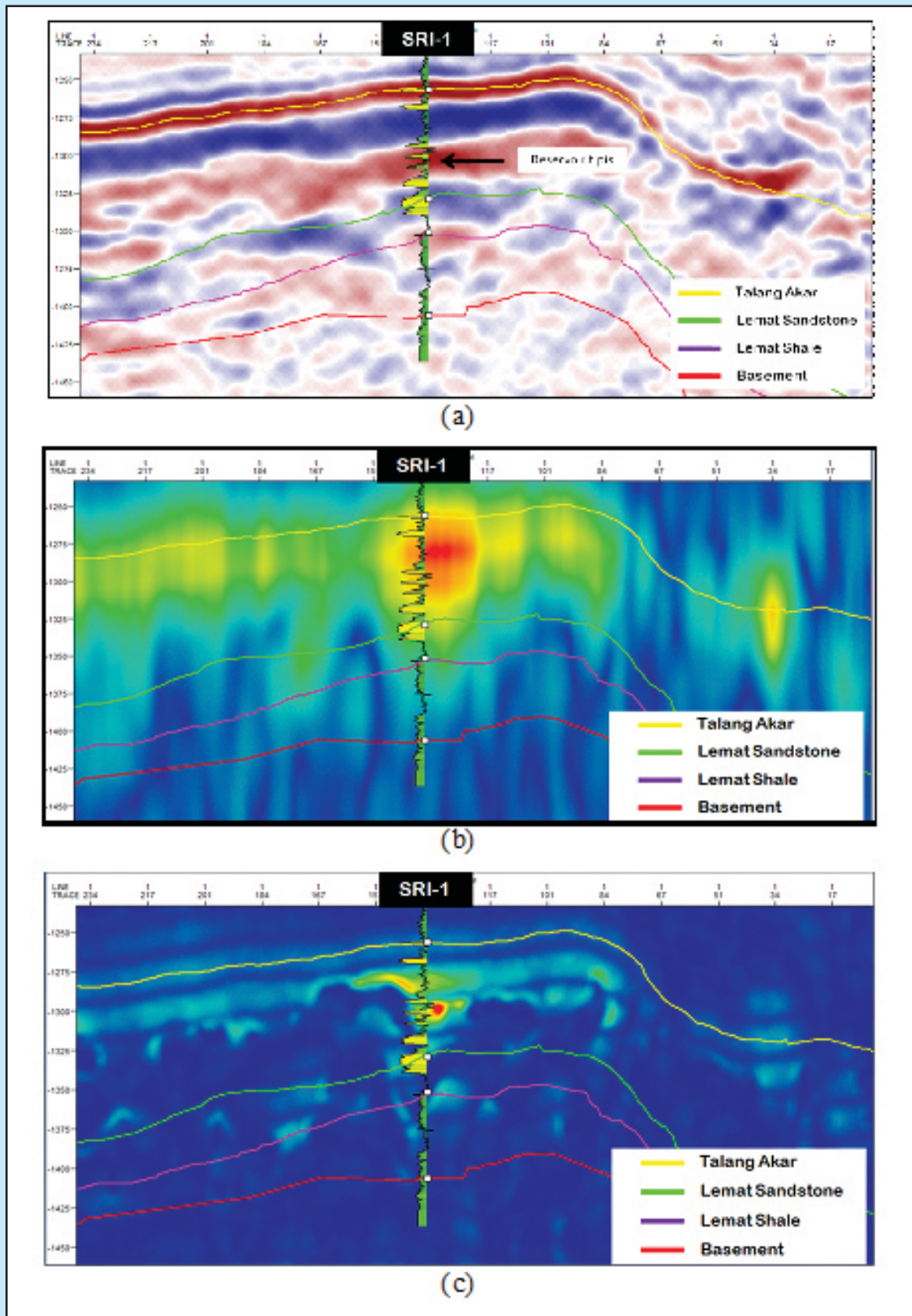
Formasi Lemat, akumulasi minyak memberikan respon amplitudo yang sangat rendah.

Pada lintasan seismik KA-14 yang dilewati sumur SRI-1, metode CWT menunjukkan respon

amplitudo tinggi pada zona non-reservoir (Gambar 11b) sedangkan metode SST menunjukkan amplitudo tinggi pada reservoir lapisan tipis (Gambar 11c). Hal ini menunjukkan resolusi frekuensi SST yang



Gambar 10
Analisa frekuensi 20Hz di penampang seismik KA-13 (a) melewati sumur SNR-1 (b) dengan metode CWT dan (c) metode SST lebih fokus dan akurat di zona reservoir.



Gambar 11
Analisa frekuensi 20Hz di penampang seismik yang melewati sumur SRI-1 dengan metode CWT dan (a) metode SST (b). Deskripsi reservoir tipis pada analisis SST lebih akurat.

baik dalam mendeskripsikan reservoir tipis. Pada reservoir batupasir Formasi Lemat, tidak terdapat amplitudo yang tinggi. Kondisi ini sama dengan di sumur SNR-1 yang menandakan absorpsi lemah oleh fluida minyak atau air. Berdasarkan separasi yang terjadi antara log *Density* dan log *Neutron-Porosity* di sumur SRI-1, maka diprediksi pada reservoir batupasir Formasi Lemat akan terakumulasi oleh minyak.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Metode *Synchrosqueezing Transform* (SST) merupakan pengembangan dari metode *Empirical Mode Decomposition* (EMD) dan Transformasi Hilbert yang dikolaborasi dengan metode CWT. Kolaborasi yang kompleks tersebut mampu meningkatkan resolusi frekuensi lebih fokus dan akurat dalam menentukan frekuensi zona reservoir dan non-reservoir dibandingkan dengan metode CWT yang cenderung ambigu. Aplikasi metode SST terhadap data seismik menunjukkan respon amplitudo tinggi yang berkorelasi terhadap keberadaan hidrokarbon gas dalam reservoir batupasir Talang Akar dan Formasi Lemat. Semakin tinggi respon amplitudo, semakin besar pula akumulasi gas dalam reservoir. Selain itu, resolusi frekuensi yang baik mampu mendeteksi reservoir lapisan tipis dengan baik pula.

KEPUSTAKAAN

Butorin, A. V., 2016. Application of wavelet spectral decomposition for geological interpretation of seismic data, *Journal of Geological Resource and Engineering* 5, 231-241

Daubechies, I., Lu, J, dan Wu, H. T., 2011. Synchrosqueezed wavelet transforms: An empirical mode decomposition-like tool: *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 30, 243–261.

Daubechies, I, dan Maes, S., 1996. A nonlinear squeezing of the continuous wavelet transform based on auditory nerve models, in A. Aldroubi, and M. Unser, eds., *Wavelets in medicine and biology*: CRC Press, 527–546.

De Coster, G. L., 1974. The geology of the Central and South Sumatra Basin. *Proceedings 3rd Annual Convention IPA*, Juni 1974, Jakarta

Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shi, H. H., Zheng, Q., Yen, N. C., Tung, C. C, dan Liu, H. H., 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis: *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454, 903–995.

Partyka, G. J, dan Lopez, J. 1999. Interpretational application of spectral decomposition in reservoir characterisation. *The Leading Edge*, 18, 353-360.

Saadatinejad, M. R, dan Hassani, H. 2013. Application of wavelet transform for evaluation of hydrocarbon reservoirs: example from Iranian oil fields in the north the Persian Gulf, *Process Geophysics*, 20, 231-238

Sarjono, S, dan Sarjito., 1989. Hydrocarbon source rocks identification in the South Palembang Sub-Basin. *Proceeding of 18th Annual Convention Indonesian Petroleum Association*. 426-467

Sinha S, Routh. P. S, Anno, P.D, dan Castgana J. P., 2005. Spectral decomposition of seismic data with continuous wavelet transform, *Geophysics*, Vol. 70, No.6, p. 19-25

Wu, H.T., Flandrin, P, dan Daubechies, I., 2011. One or Two Frequencies? the Synchrosqueezing Answers. *Advances in Adaptive Data Analysis (AADA)*,