



UNIVERSITAS INDONESIA


**EVALUASI PROSPEK LAPANGAN XYZ BERDASARKAN
ATRIBUT INVERSI SEISMİK DAN ANALISIS KUANTITATIF
DEKOMPOSISI SPEKTRAL**

TESIS

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains

**HARYONO
1006733972**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR
JAKARTA
2012**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Haryono

NPM : 1006733972

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Haryono
NPM : 1006733972
Program Studi : Magister Fisika
Kekhususan : Geofisika Reservoir
Judul Skripsi : Evaluasi Prospek Lapangan XYZ Berdasarkan Atribut Inversi Seismik dan Analisis Kuantitatif Dekomposisi Spektral

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Fisika, Kekhususan Geofisika Reservoir Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. rer. nat. Abdul Haris (.....)

Penguji : Prof. Dr. Suprajitno Munadi (.....)

Penguji : Dr. Waluyo (.....)

Penguji : Dr. Carlos Tarazona (.....)

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 20 April 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadapan Allah karena dengan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Dalam tugas akhir ini, penulis melakukan studi mengenai

Tujuan penulis membuat Tugas Akhir ini, yaitu sebagai salah satu syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Dalam pelaksanaan penelitian ini penulis banyak mendapat bantuan baik berupa bimbingan atau konsultasi maupun dorongan moral dalam pembuatan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. rer. nat. Abdul Haris sebagai pembimbing dari Program Peminatan Geofisika Reservoar, Universitas Indonesia yang telah memberikan waktu, tenaga, serta pikiran untuk membimbing penulis dalam pembuatan tugas akhir ini.
2. Prof. Dr. Supradjitno Munadi selaku Ketua Kekhususan Geofisika Reservoar yang telah memberikan dukungan dan saran terhadap penelitian khususnya dalam bidang geofisika dan perkuliahan selama kuliah di Peminatan Geofisika.
3. Dr. Yunus Daud selaku Ketua Program Magister Geofisika Reservoar Universitas Indonesia
4. Seluruh staf pengajar program Magister Geofisika Reservoar Universitas Indonesia.

5. Keluarga Penulis tercinta, Ibu Samina dan Bapak Haryanto yang telah memberikan dorongan baik moral maupun materi untuk terlaksananya studi ini dan penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Calon Istri Penulis, Zahrolyn dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini dan membantu dalam mengeprint Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Program Magister Geofisika Reservoar UI, khususnya angkatan 2010, terima kasih atas dukungannya selama ini.
8. Para sahabat dan kerabat yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis tuliskan satu-persatu.

Semoga Allah membalas kebaikan yang telah mereka berikan kepada penulis dalam melakukan penelitian ini. Ada pepatah mengatakan bahwa 'tak ada gading yang tak retak' maka penulis pun menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangannya. Maka dari itu, penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca supaya laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini memberikan peran dalam perkembangan eksplorasi minyak dan gas bumi bermanfaat bagi para pembaca dan penulis.

Jakarta, April 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Haryono
NPM : 1006733972
Program Studi : Magister Fisika
Kekhususan : Geofisika Reservoir
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive RoyaltyFree Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

*Evaluasi Prospek Lapangan XYZ Berdasarkan Atribut Inversi Seismik dan Analisis
Kuantitatif Dekomposisi Spektral*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 01 April 2012

Yang menyatakan,



(Haryono)

ABSTRAK

Nama : Haryono
Program Studi : Magister Fisika, Geofisika Reservoir
Judul Skripsi : Evaluasi Prospek Lapangan XYZ Berdasarkan Atribut Inversi Seismik dan Analisis Kuantitatif Dekomposisi Spektral

Reservoir pada lapangan XYZ ini merupakan reservoir *limestone globigerina* berumur pertengahan - akhir *miocene* dengan ketebalan mencapai 140 meter, dan telah terpenetrasi oleh sumur XYZ dengan hasil berupa akumulasi gas. Seismik atribut dapat diaplikasikan untuk mengidentifikasi keberadaan gas tersebut. Studi ini difokuskan pada integrasi inversi seismik dan analisis kuantitatif dekomposisi spektral dengan tujuan lebih lanjut untuk menentukan perhitungan cadangan hidrokarbon.

Inversi *model based* digunakan untuk menunjukkan keberadaan reservoir yang memiliki porositas tinggi, dimana pada kasus ini daerah yang memiliki porositas 40-47 % menghasilkan nilai impedansi akustik yang relatif lebih rendah sekitar 4400-5500 (m/s)(gr/cc). Lebih lanjut, dekomposisi spektral CWT digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan dari reservoir hidrokarbon berdasarkan anomali frekuensi rendah dan atenuasi energi pada frekuensi tinggi. Pada studi ini frekuensi rendah berada pada 10-20 Hz dan frekuensi tinggi 30 - 40 Hz. Frekuensi 10Hz mampu merepresentasikan anomali frekuensi rendah dengan diikuti oleh atenuasi pada frekuensi yang lebih tinggi yaitu 20, 30 dan 40 Hz. Pada studi ini, analisis atenuasi dilakukan secara kuantitatif dengan pendekatan metode rasio spektral, dimana nilai gradien frekuensi dapat berasosiasi dengan faktor kualitas (Q). Pada zona reservoir didapatkan nilai Q rendah berkisar 25 - 30 yang mengindikasikan terjadi atenuasi yang kuat dalam medium tersebut. Nilai Q dapat memisahkan dua reservoir gas, dan zona air. Keberadaan air akan mengurangi nilai Q hingga mencapai 10.

Analisis lebih lanjut untuk memisahkan dua unit reservoir maka dilakukan krosplot antara parameter porositas dan tekanan. Hasil krosplot menunjukkan bahwa nilai Q akan bertambah seiring dengan bertambahnya tekanan,. Nilai Q akan berkurang seiring dengan bertambahnya porositas, akan tetapi, nilai Q akan lebih sensitif dengan keberadaan fluida cair.

Hasil integrasi antara inversi seismik dan analisis kuantitatif dekomposisi spektral dapat membantu dalam mengkarakterisasi reservoir berdasarkan sifat fisiknya sehingga memudahkan dalam memetakan penyebaran secara lateral dengan tingkat keyakinan yang tinggi. Berdasarkan penyebaran secara lateral telah dilakukan perhitungan cadangan dengan menggunakan simulasi montecarlo sebesar 152.3 bcf.

Kata kunci : *Limestone Globigerina, Dekomposisi Spektral, CWT, Inversi Model Based, Faktor Kualitas Q*

ABSTRACT

Name : Haryono
Study of Program : Magister Fisika, Geofisika Reservoir
Title : Prospect Evaluation of XYZ Field Based on Seismic
Inversion Attribute and Quantitative Analysis of
Spectral Decomposition

Reservoir XYZ field is a Mid-late Miocene of Globigerina Limestone with 140 meters of thickness. It has been penetrated by XYZ well with contained of gas accumulation. Seismic attributes can be applied to identify the presence of gas. This study focused on the integration of seismic inversion and quantitative analysis of spectral decomposition in order to define the calculation of hydrocarbon reserves.

Model based inversion used to indicate the existence of reservoirs that have high porosity, which in this case regions with 40-47% porosity value of acoustic impedance is relatively low at about 4400-5500 (m / s) (g / cc). In addition, Spectral decomposition CWT used to identify hydrocarbon reservoir with low frequency anomaly and attenuation of energy in higher frequency. In this study, low frequency at 10 – 20 Hz and high frequencies at 30 - 40 Hz. Frequency 10 Hz able to represented the low frequency anomaly and followed by attenuation in higher frequency 20, 30, and 40 Hz. In this study quantitative analysis of attenuation performed by the spectral ratio method approach, where the frequency gradient can be associated with quality Factor Q. In the reservoir zone has low Q value around 25 – 30 indicating a strong attenuation occurs in that medium. Q values can separate two gas reservoir, and water zones. The presence of water will reduce the value of Q up to 10.

Further analysis for separation of two reservoir unit is performed by crossplot between porosity and pressure parameters. The results showed that the value of Q will increase along with increasing Pressure. Q values decreased with increasing Porosity. However, the value of Q will be more sensitive to the presence of liquid fluid.

The result of the integration between seismic inversion and quantitative analysis of the spectral decomposition can aid in reservoir characterization based on its physical properties, making it easier to map the lateral distribution with a high level of confidence. Based on the lateral distribution, Reserve calculation has been performed using Montecarlo simulations and resulted 152.3 bcf of reserve.

Keywords : *Limestone Globigerina, Spectral Decomposition, CWT, Inversion Model Based, Quality Factor Q, Crossplot*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Lokasi Studi	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TEORI DASAR	6
2.1 Geologi Regional	6
2.2 Dekomposisi Spektral	10
2.3 Anomali Frekuensi Rendah	12
2.4 Faktor Kualitas	15
2.5 Seismik Inversi	21
BAB III APLIKASI SEISMIK INVERSI DAN DEKOMPOSISI SPEKTRAL	25
3.1 Ketersediaan Data	25
3.2 Persiapan Data	26
3.3 Proses Dekomposisi Spektral.....	26
3.4 Proses Estimasi harga Q	27
3.5 Proses Seismik Inversi	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Dekomposisi Spektral	35
4.2 Estimasi Harga Q	45
4.3 Seismik Inversi.....	54
4.4 Analisis Kuantitatif	59
4.5 Perhitungan Cadangan	64
BAB V KESIMPULAN.....	66
DAFTAR ACUAN	69

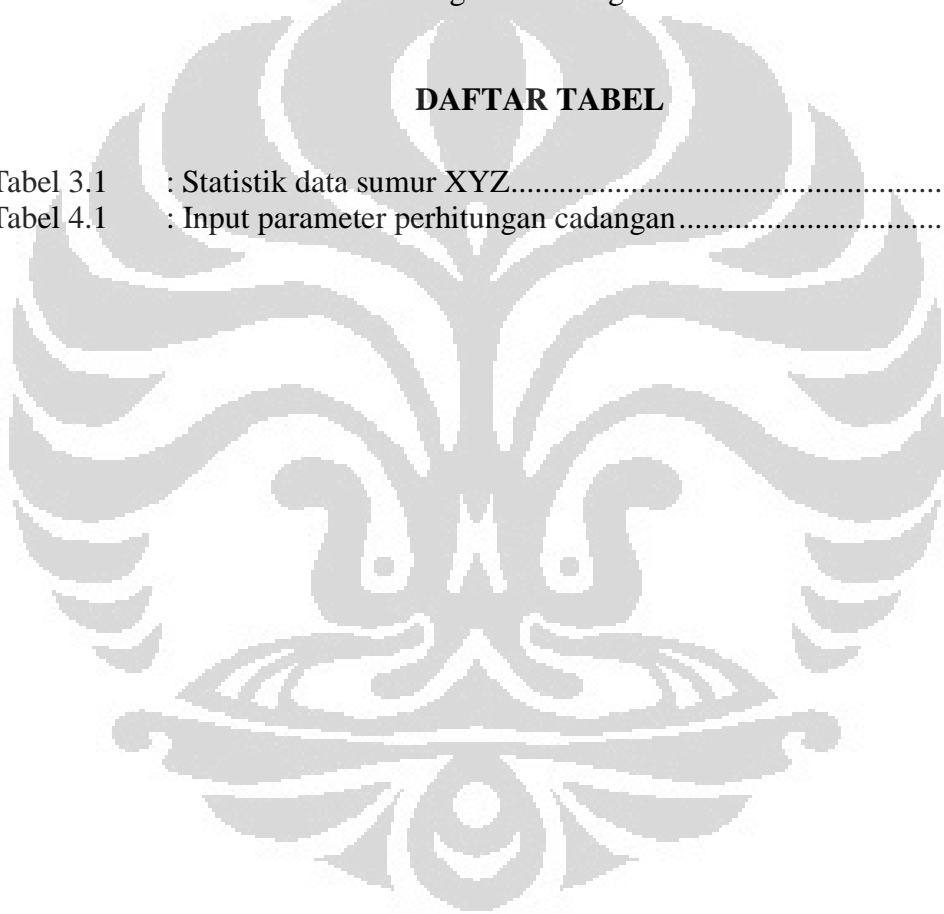
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	: Lokasi studi (Google, 2012).....	2
Gambar 1.2	: Diagram alur kerja integrasi inversi dan dekomposisi spektral.....	4
Gambar 2.1	: Geologi cekungan Jawa Timur (Satyana et al, 2004).....	6
Gambar 2.2	: Litostratigrafi dan identifikasi sumber gas (Satyana, 2004)	9
Gambar 2.3	: Respon seismik refleksi dari percobaan Lab (Korneev, 2004)	13
Gambar 2.4	: Hasil CWT pada frekuensi 20 Hz dan 40 Hz daerah basin gas Meksiko (Burnett at al, 2003)	14
Gambar 2.5	: Penampang frekuensi tunggal (a) 10 Hz (b) 60 Hz pada seismik line A-A' (Liu, 2006)	15
Gambar 2.6	: Langkah kerja dalam perhitungan Q (Abdullah, 2009)	16
Gambar 2.7	: Penentuan faktor kualitas dengan metode rasio spektral (Munadi, 2000)	18
Gambar 2.7	: Pelemahan secara eksponensial energi pada frekuensi tinggi.....	18
Gambar 2.8	: (a) Seismik konvensional Gulf Mexico (b) Gradien hasil rasio spektral (Walls, 2006)	19
Gambar 2.9	: Estimasi harga Q dengan cara rasio spektral. Kemiringan dari garis linier (merah) jika dimasukkan ke dalam persamaan (2.7) akan memberikan estimasi harga Q (Abdullah, 2009).....	20
Gambar 2.10	: Skema pemodelan kedepan dan inversi (Sukmono, 2000)	21
Gambar 2.11	: Proses inversi berbasis model (HRS, 2007)	23
Gambar 3.1	: <i>Base Map</i> lapangan XYZ	25
Gambar 3.2	: Pengikatan data sumur dengan seismik	26
Gambar 3.3	: Wavelet Complex Gaussian (Matlab, 2008)	27
Gambar 4.1	: Seismik konvensional lapangan XYZ pada Xline 286	31
Gambar 4.2	: Seismik konvensional lapangan XYZ pada <i>timeslice</i> 1170 ms	32
Gambar 4.3	: Peta struktur antiklin Top Reservoir domain waktu.....	33
Gambar 4.4	: Peta struktur antiklin Top Reservoir domain kedalaman	34
Gambar 4.5	: Dekomposisi spektral CWT 10 Hz pada Xline 286	37
Gambar 4.6	: Dekomposisi spektral CWT 20 Hz pada Xline 286	38
Gambar 4.7	: Dekomposisi spektral CWT 30 Hz pada Xline 286	39
Gambar 4.8	: Dekomposisi spektral CWT 40 Hz pada Xline 286	40
Gambar 4.9	: Dekomposisi spektral CWT 10 Hz pada <i>timeslice</i> 1170 ms	41
Gambar 4.10	: Dekomposisi spektral CWT 40 Hz pada <i>timeslice</i> 1170 ms	42
Gambar 4.11	: <i>Horizon slice</i> dekomposisi spektral CWT 10 Hz dengan <i>window</i> 25 ms pada reservoir.....	43
Gambar 4.12	: <i>Horizon slice</i> dekomposisi spektral CWT 40 Hz dengan <i>window</i> 25 ms pada reservoir.....	44
Gambar 4.13	: Gradien frekuensi hasil rasio spektral pada Xline 286	46
Gambar 4.14	: Faktor Q pada Xline 286.....	47
Gambar 4.15	: Gradien frekuensi pada <i>timeslice</i> 1170 ms.....	48
Gambar 4.16	: Faktor Q pada <i>timeslice</i> 1170 ms	49
Gambar 4.17	: <i>Horizon slice</i> gradien frekuensi dengan <i>window</i> 25 ms	

pada reservoir	51
Gambar 4.18 : <i>Horizon slice</i> faktor Q dengan <i>window</i> 25 ms pada reservoir.....	52
Gambar 4.19 : Hasil seismik Inversi pada Xline 286	55
Gambar 4.20 : Hasil seismik Inversi pada <i>timeslice</i> 1170 ms.....	56
Gambar 4.21 : <i>Horizon slice</i> seismik inversi dengan <i>window</i> 25 ms pada reservoir	58
Gambar 4.22 : Krosplot impedansi akustik dengan porositas.....	59
Gambar 4.23 : (a) Gradien frekuensi yang melewati sumur XYZ (b) faktor Q dan Sw pada Zona reservoir	60
Gambar 4.24 : Krosplot tekanan dengan kedalaman pada zona reservoir	61
Gambar 4.25 : Krosplot tekanan dengan Q pada zona reservoir.....	62
Gambar 4.26 : Krosplot Q dengan porositas pada zona reservoir.....	62
Gambar 4.27 : Kurva Risk dengan volume gas	65
Gambar 4.28 : Kurva Frekuensi dengan volume gas.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Statistik data sumur XYZ.....	26
Tabel 4.1 : Input parameter perhitungan cadangan.....	64



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Didalam aktivitas eksplorasi dan pengembangan minyak dan gas bumi, beberapa studi banyak telah dilakukan secara terintegrasi untuk meningkatkan tingkat keberhasilan. Didalam studi geofisika telah banyak berkembang untuk memprediksi keberadaan hidrokarbon dengan menggunakan data seismik, baik itu dilakukan dalam data bersifat *prestack* maupun *poststack*. Salah satu teknik dalam metode pengolahan data seismik lanjut yang sering digunakan oleh industri, yakni metode inversi seismik. Metode ini akan mengubah data sinyal seismik menjadi impedansi akustik yang merupakan sifat fisis batuan. Perpaduan antara nilai impedansi akustik yang diperoleh dari hasil inversi seismik yang mempunyai akurasi yang baik ke arah lateral dengan data sumur yang memiliki akurasi baik ke arah vertikal akan menghasilkan parameter reservoir yang lebih akurat dengan tingkat kesalahan yang lebih kecil.

Selain metode inversi seismik, belakangan ini berkembang metode lain untuk mengkarakterisasi reservoir melalui atribut frekuensi, yaitu dekomposisi spektral. Metode ini membantu untuk mengidentifikasi keberadaan zona hidrokarbon yang terkait dengan keberadaan dari zona anomali frekuensi rendah. Anomali tersebut merupakan anomali yang muncul pada frekuensi rendah di sekitar reservoir hidrokarbon, hal tersebut terjadi karena adanya pergeseran spektral energi ke frekuensi yang lebih rendah dan diikuti oleh penyerapan energi yang cepat pada frekuensi yang lebih tinggi. Akan tetapi metode ini hanya dapat menyajikan interpretasi bersifat kualitatif saja.

Pada studi ini selain akan dilakukan inversi dan dekomposisi spektral, akan dilakukan juga kuantifikasi mengenai penyerapan energi yang terjadi pada frekuensi tinggi dekomposisi spektral, sehingga akan didapatkan hasil berupa gradien frekuensi dan faktor Q terkait dengan atenuasi intrinsik tersebut.

1.2 Lokasi Studi

Studi ini mengambil lokasi dilapangan XYZ laut di daerah Jawa, daerah ini memiliki sistem petroleum yang telah terbukti dalam menghasilkan hidrokarbon. Adapun daerah studi ini berada disebelah Selatan-Barat dari daerah yang telah menghasilkan gas dalam satu blok.



Gambar 1.1 : Lokasi studi (Google, 2012)

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan data yang tersajikan, terdapat informasi bahwa terdapat sumur XYZ memiliki kandungan gas di reservoir *limestone*, dimana reservoir ini memiliki porositas yang cukup besar. Melalui data 3d seismik dan sumur, akan dilakukan evaluasi melalui metode inversi dan dekomposisi spektral. Diharapkan dengan metode inversi akan dapat membantu menginvestigasi penyebaran impedansi akustik secara lateral dan metode dekomposisi spektral akan dapat membantu mengidentifikasi penyebaran lateral keberadaan zona anomali frekuensi rendah dan dapat mengetahui besarnya atenuasi gelombang seismik di reservoir tersebut.

Studi ini dibatasi pada pembuatan dan analisis peta atribut seismik berbasis inversi *model based*, dekomposisi spektral CWT, dan analisis kuantitatif berupa

Universitas Indonesia

faktor kualitas di zona reservoir gas biogenik *limestone*.

1.4 Tujuan Studi

Tujuan studi ini adalah:

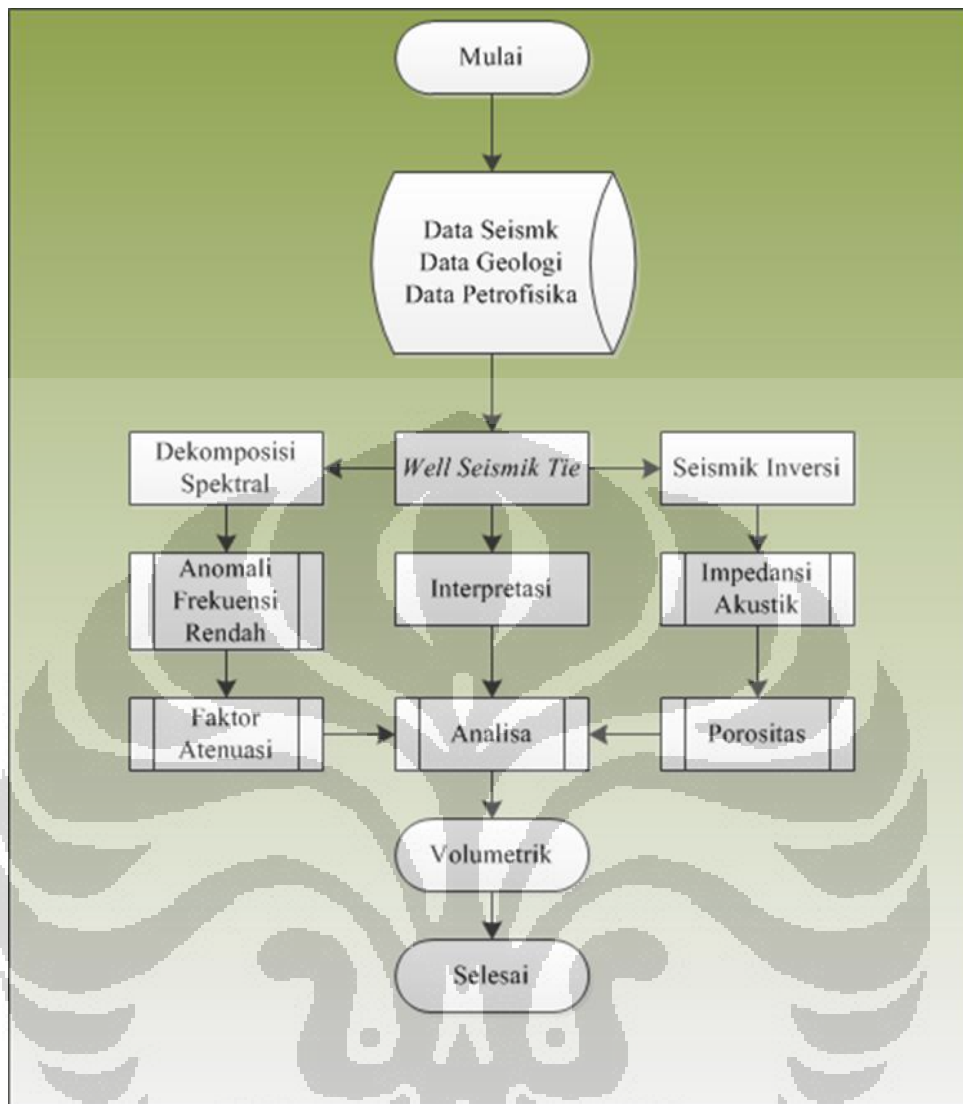
1. Menganalisis seismik atribut dekomposisi spektral CWT untuk memprediksi keberadaan anomali frekuensi rendah yang terkait keberadaan hidrokarbon dan dapat mengetahui karakteristik reservoir melalui besarnya atenuasi pada zona reservoir tersebut.
2. Menganalisis seismik atribut inversi *model based* untuk mengetahui karakteristik reservoir melalui impedansi akustik.
3. Menghitung besarnya atenuasi pada reservoir melalui faktor kualitas Q .
4. Dengan analisis metode seismik atribut dekomposisi spektral, inversi, dan faktor kualitas ini dapat memprediksi pola penyebarannya secara lateral.
5. Menghitung cadangan yang berprospek terdapat hidrokarbon.

1.5 Metodologi

Penelitian pada lapangan “XYZ” ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu :

1. Pengumpulan data penelitian
2. Penyiapan data
3. Pengikatan seismik dan sumur, serta interpretasi
4. Pembuatan inversi seismik berbasis *model based*
5. Pembuatan dekomposisi spektral berbasis CWT
6. Analisis kualitatif dan kuantitatif integrasi inversi seismik dan dekomposisi spektral
7. Perhitungan cadangan

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam studi ini ditunjukkan Gambar 1.2



Gambar 1.2 : Diagram alur kerja integrasi inversi seismik dan dekomposisi spektral

Inversi seismik dan dekomposisi spektral merupakan metode geofisika yang dapat bermanfaat dalam membantu interpretasi dan mengidentifikasi sifat-sifat fluida melalui pendekatan fisika. Hal utama yang perlu dilakukan adalah pengecekan data geologi dan geofisika untuk menunjang proses seismik atribut, dan memahami informasi geologi untuk membantu dalam interpretasi yang akan menunjang hasil dari seismik atribut tersebut.

Untuk mengoptimalkan hasil proses seismik atribut, perlu dilakukan pengikatan seismik terhadap sumur. Hal tersebut dikarenakan terdapat perbedaan besaran pada seismik dan sumur, untuk menghubungkan keduanya diaplikasikan nilai *checkshot*, kemudian dilakukan korelasi agar terjadi pengikatan yang cukup baik dalam representasi tiap formasi.

Universitas Indonesia

Inversi seismik yang dilakukan pada studi ini menggunakan *model based*, metode ini bertujuan untuk memperoleh nilai impedansi akustik dari data seismik. Impedansi akustik merupakan salah satu parameter fisika yang menyatakan sifat fisis batuan, maka impedansi akustik yang didapatkan ini dapat dengan lebih mudah dikonversi menjadi parameter fisis batuan yang lebih spesifik lainnya.

Dekomposisi spektral berbasis *Continuous Wavelet Transform (CWT)* merupakan suatu proses untuk menguraikan sinyal seismik dalam frekuensi domain untuk melihat karakter seismik dalam respon frekuensi. Aplikasi pada studi ini adalah untuk melihat respon frekuensi pada reservoir *limestone* yang memiliki kandungan gas. Dalam domain frekuensi ini diharapkan diperoleh anomali frekuensi rendah terkait dengan keberadaan hidrokarbon. Akan tetapi hal ini merupakan metode yang bersifat kualitatif. Untuk melihat secara kuantitatif, maka dilakukan analisis Q faktor atau faktor atenuasi yang terdapat di zona reservoir tersebut.

Dengan mengetahui anomali frekuensi rendah pada reservoir gas tersebut dapat dilakukan penyebaran secara lateral untuk melihat respon karakter anomali frekuensi rendah yang sama. Hasil inversi seismik dan dekomposisi spektral ini dapat membantu dalam interpretasi dan digunakan dalam investigasi zona yang memiliki prospek. Dengan adanya integrasi dari hasil interpretasi petrofisika, informasi geologi, interpretasi seismik, dan seismik atribut tersebut, maka akan menambah tingkat keyakinan dalam usaha untuk mengidentifikasi penyebaran reservoir yang mengandung hidrokarbon.

1.6 Sistematika Penulisan

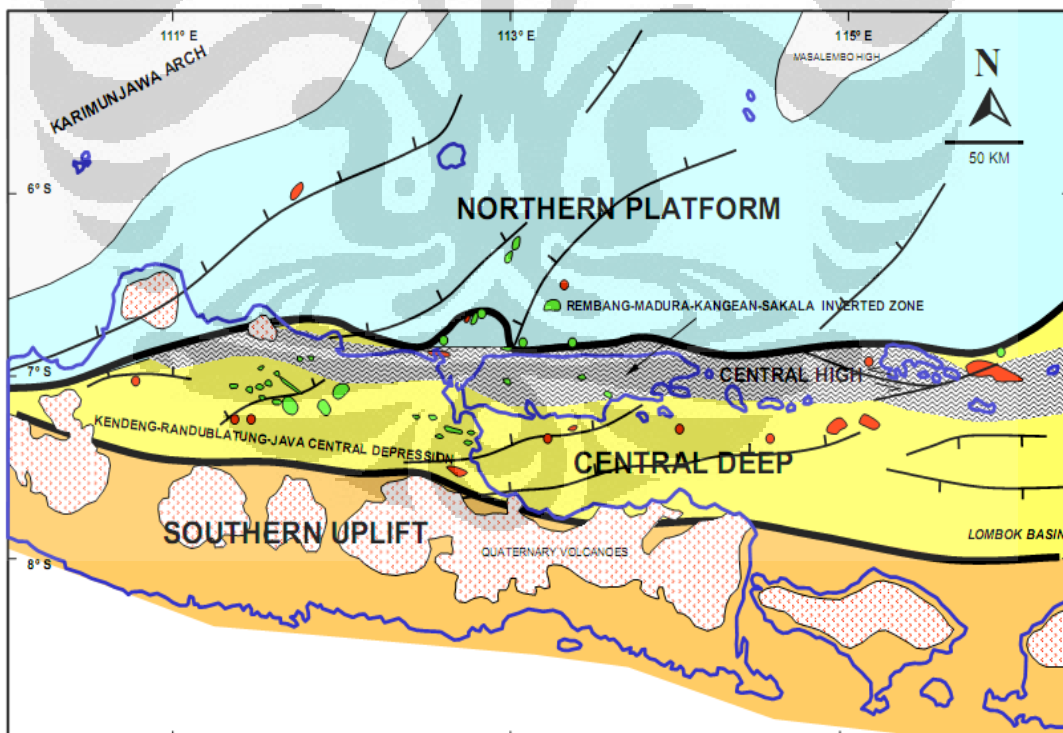
Penulisan tesis ini terbagi menjadi lima bab yang saling berkaitan, meliputi bab 1 adalah pendahuluan, pendahuluan ini berisi penjelasan secara singkat mengenai latar belakang, tujuan studi, batasan masalah serta metodologi studi. Bab 2 merupakan teori dasar, mulai dari regional geologi, dekomposisi spektral, anomali frekuensi rendah, faktor kualitas, dan inversi seismik. Bab 3 merupakan aplikasi dari dekomposisi spektral dan inversi seismik untuk data riil seismik 3 dimensi. Bab 4 memberikan gambaran hasil dan analisis secara kualitatif dan kuantitatif, dan Bab 5 mendeskripsikan kesimpulan yang didapat dari studi ini.

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Geologi Regional

Jawa Timur memiliki *embayment* sempit yang memanjang dari Cepu sampai Kangean dengan batas dua tinggian paralel di utara berupa zona patahan RMKS dan selatan berupa zona uplifted pegunungan selatan, pada saat awal *Miocene* dan *Pliocene* (Gambar 2.1). *Embayment* ini miring timur ke arah Kangean atau utara Lombok. *Embayment* ini dalam dan titik terdalam nya ada di barat laut Lombok. Wilayah ini merupakan muara sungai Sunda Purba (*Molengraaf*) yang juga membawa sungai-sungai di Jawa, Sumatera Selatan, dan Kalimantan Selatan. Dinamakan Formasi Mundu di Selat Madura, Formasi Paciran di selatan Kangean, dan Selorejo di Cepu. Berdasarkan umur absolut detailnya dengan isotop Sr 86/87 akan diketahui bahwa terdapat sedikit perbedaan timing di antara formasi-formasi ini (Satyana, 2004).



Gambar 2.1 : Geologi cekungan Jawa Timur (Satyana et al, 2004)

Globigerina merupakan foram laut dalam, maka tempat timur *embayment* ini sebenarnya tempat asal *globigerina*, juga tempat-tempat dalam di selatan Madura. Pengetahuan tentang paleo-oseanografi menunjukkan bahwa sepanjang *Pliocene* terdapat pola arus ke barat dari Kangean menuju Cepu di *embayment* tersebut. Terjadi *upwelling currents* yang membawa foram *globigerina* di wilayah *abyssal* naik ke wilayah neritik, pada tempat tersebut akan mengalami deposisi dan *reworking*, antara lain oleh storm, sehingga tidak heran jika contoh core dan FMI-nya menunjukkan pola seperti *truncation* dan *eruptional surface*, hal ini merupakan efek *reworking* di wilayah neritik.

Seharusnya *upwelling* yang dipicu dua tinggian utara-selatan itu akan naik ke kedua arah, baik ke utara maupun selatan. Akan tetapi faktanya, sisi utara ternyata lebih prolifrik untuk deposisi *globigerina*, mungkin pola arus paleo-oseanografi yang lebih *prone to upwelling* di sana. Maka, semua lapangan gas dengan reservoir *globigerina* baru terbukti di sisi utara, sejak dari Kangean ke Cepu. Sedangkan Sisi selatan, masih harus melihat efek deposisi volkanoklastik dari jalur volkanik seumur *Plio-Pleistosen* (Satyana, 2004).

Reservoir *globigerina* memiliki porositas yang sangat tinggi, hampir sekitar 40 - 50 % dengan permeabilitas ratusan *milidarcy*. Hal tersebut merupakan karakter reservoir yang sangat baik, akan tetapi faktor efek kompaksi dan slump jika gas terambil yang dikarenakan reservoir ini dangkal dan berumur muda. Pada umumnya, reservoir jenis ini terisi gas biogenik karena lingkungan *embayment* yang setengah tertutup dan deposisi cepat, tetapi minyak pun sudah terbukti masuk pula ke reservoir ini, selama ada konduit sesar yang menghubungkannya dengan Ngimbang *source pods*.

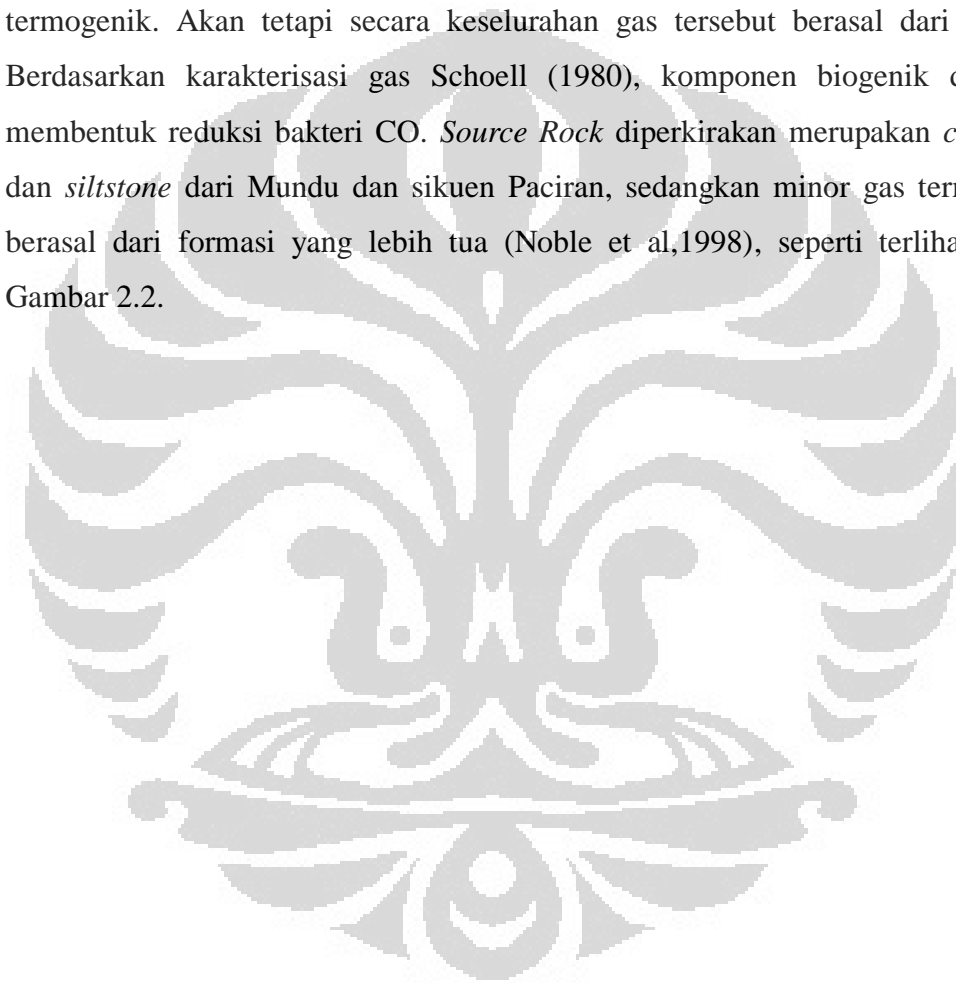
Berdasarkan analisis sedimentologi terkait dengan *core* pada well XYZ dari interval reservoir 976 sampai 1000 meter menghasilkan bahwa planktonik foraminifer *lime-packstone* dan *lime-grainstone* yang terdeposisikan pada lingkungan pengendapan *outer marine shelf* (Corelab, 2009).

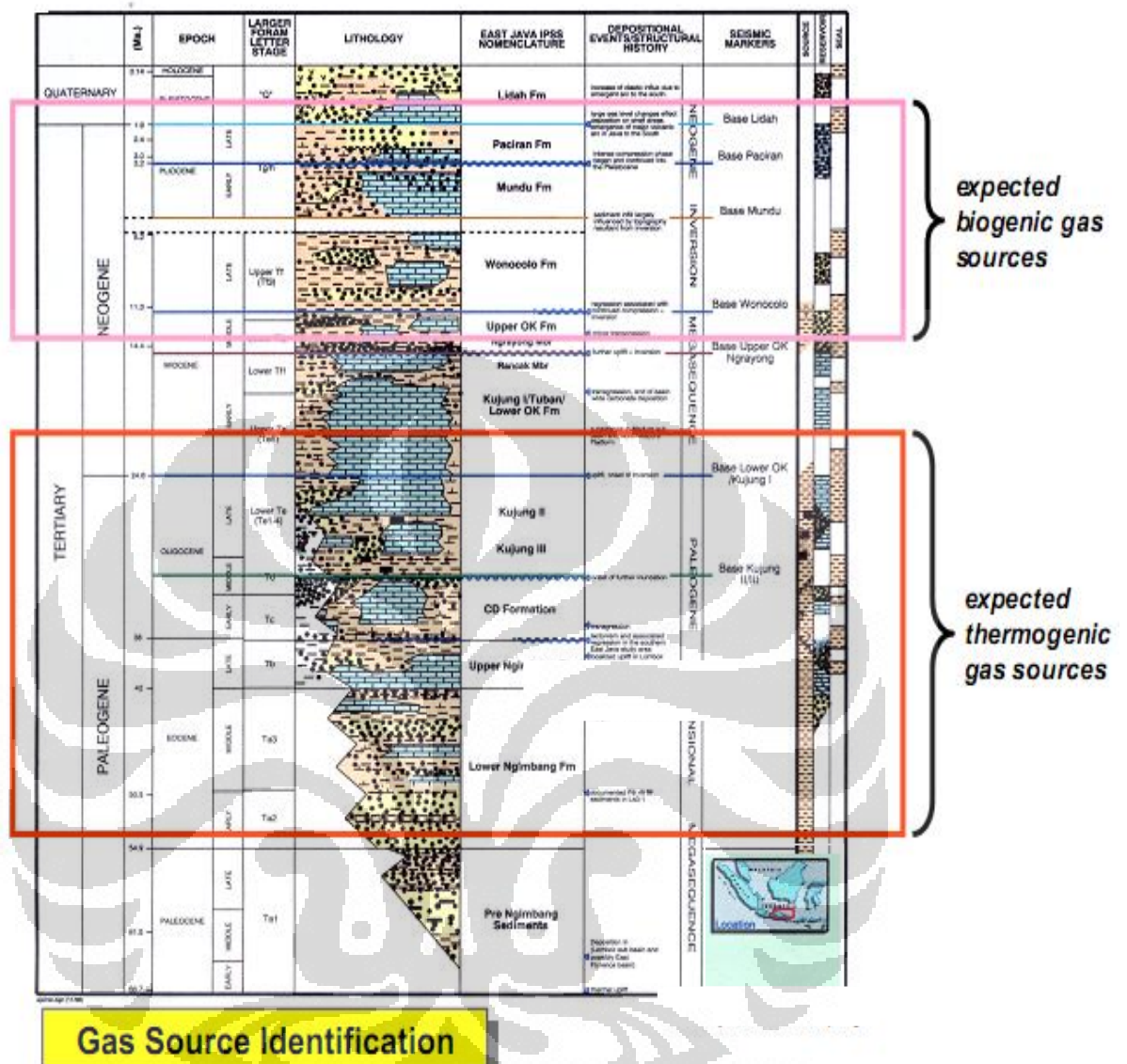
Berdasarkan hasil biostratigrafi (Biostrat-09041), sampel dari interval 976-1100mDL terdeposisikan dengan lingkungan sebagai berikut :

- Interval 976-995 meter : *Marine, upper bathyal environment (turbidite)*

- Interval 1010-1100meter : *Marine, outer neritic to upper bathyal environment (turbidite).*

Gas biogenik di lapangan ini merupakan metan murni, hanya terkandung 1 % CO₂ dan kombinasi alkana yang lebih tinggi dan tanpa *hydrogen sulphide* (Yanyan et al, 2007). Data isotop dari sumur tetangga mengindikasikan gas biogenik dengan sedikit termogenik. Sumur tetangga yang kedua berdasarkan data isotop memiliki kandungan gas yang lebih berat yang mengindikasikan lebih signifikan ke gas termogenik. Akan tetapi secara keseluruhan gas tersebut berasal dari bakteri. Berdasarkan karakterisasi gas Schoell (1980), komponen biogenik dari gas membentuk reduksi bakteri CO. *Source Rock* diperkirakan merupakan *claystone* dan *siltstone* dari Mundu dan sikuen Paciran, sedangkan minor gas termogenik berasal dari formasi yang lebih tua (Noble et al,1998), seperti terlihat dalam Gambar 2.2.





Gambar 2.2 : Litostratigrafi dan identifikasi sumber gas (Satyana, 2004)

Sikuen *claystone* terdeposisikan pada akhir *Pliocene* atau sekitar 2 juta tahun yang lalu (Yanyan et al, 2007). Rekonstruksi mengindikasikan bahwa trap mulai berkembang pada saat atau segera setelah deposisi unit seal, dan juga dapat dimungkinkan klosur awal ini terkait dengan geometri pengendapan reservoir foraminiferal *limestone*. Waktu yang tepat pada awal klosur mengakibatkan Lidah muds tidak menjadi seal yang efektif sampai beberapa waktu kemudian ketika permeabilitas batuan penutup telah berkurang. Reservoir XYZ telah terpendam sampai kedalaman 200 meter pada 1,2 juta tahun yang lalu. Generasi gas biogenik melewati proses yang kurang lebih konstan, dari waktu pengendapan menerus hingga materi sumber menjadi keluar atau temperatur methanogenesis aerobik

mencapai dan melewati pada titik jenuh nya (75-80 derajat Celcius). Konsekuensinya, trap mulai menjadi kolam gas ketika seal cukup (sekitar 1,2 juta tahun yang lalu) dan akan terus kontinyu untuk mengisi sampai 0,4 juta tahun yang lalu ketika kolom gas mencapai tinggi maksimum (sekitar 70 meter). Pada titik ini, kapasitas seal pada top seal akan melebihi batas, dimungkinkan karena tekanan *bouyancy* dan gas bocor secara vertikal menuju ke trap. Gas ini telah mengisi bagian *sandstone* tipis dan *siltstone bed* pada overburden. Zona shallow gas juga bocor secara vertikal dengan kemenerusan dari perkembangan lipatan XYZ. Kebocoran melewati fault bisa saja terjadi akan tetapi hal itu akan dianggap tidak terjadi karena fault terkonsentrasi pada flank dari struktur XYZ dimana seismik mengindikasikan perangkap gas terkonsentrasi pada *crest* struktur.

Ketinggian klosur maksimum pada reservoir (120-140 m) telah mencapai pada waktu geologi sekarang sekitar seratus juta tahun. Pada akhir kapasitas seal lebih dari 100 meter, mengindikasikan bahwa pengisian aktif telah berhenti atau tidak ada pengisian kembali seiring perkembangan struktural. (Yanyan et al, 2007).

2.2 Dekomposisi Spektral

Dekomposisi spektral merupakan proses penguraian spektrum pada data seismik untuk memudahkan proses interpretasi. Dalam mengubah data seismik kedalam domain frekuensi dengan menggunakan CWT, analisis wavelet merupakan metode yang cukup baru untuk mengatasi masalah yang terdapat pada metode konvensional sebelumnya yaitu metode STFT. Analisis wavelet merupakan sebuah teknik penjendelaan variabel dan mengijinkan penggunaan waktu yang panjang dimana diharapkan informasi frekuensi rendah yang lebih tepat dan daerah yang lebih pendek dimana diinginkan komponen frekuensi yang lebih tinggi. Untuk implementasinya digunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT). Metode CWT tidak memerlukan pemilihan panjang jendela dan fungsi jendela digantikan oleh wavelet.

Metode CWT memiliki resolusi waktu yang bagus pada frekuensi tinggi, dan memiliki resolusi frekuensi yang bagus pula pada frekuensi rendah. Metode CWT menggunakan dilatasi dan translasi untuk menghasilkan peta skala-waktu (*scalegram*). CWT didefinisikan sebagai :

Universitas Indonesia

$$Fw(\sigma, \tau) = (f(t), \psi(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \psi * \left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) dt \quad (2.1)$$

seperti terlihat dalam persamaan diatas terdiri dari σ merupakan parameter skala, τ merupakan parameter translasi, dan ψ konjugasi merupakan *mother wavelet*.

Kata wavelet memiliki arti sebuah gelombang yang kecil. Ukuran kecilnya mengarah kepada kondisi dimana fungsi jendela berada pada panjang terbatas (*finite*). Gelombang mengarah kepada kondisi dimana merupakan fungsi osilasi. Kata mother mengarah kepada daerah *support* berbeda dimana digunakan pada proses transformasi diturunkan dari satu fungsi utama atau mother wavelet. Dengan kata lain, *mother wavelet* merupakan *prototype* untuk menghasilkan fungsi jendela yang lain.

Parameter translasi berhubungan dengan lokasi jendela, dengan jendela yang bergeser sepanjang sinyal. Parameter ini terkait dengan dengan informasi waktu pada domain transformasi. Akan tetapi kita tidak memiliki parameter frekuensi seperti pada STFT, maka dari itu kita menggunakan parameter skala yang berbanding terbalik dengan frekuensi. Untuk skala tinggi berhubungan dengan pandangan global yang tidak detil dan skala rendah berhubungan dengan pandangan detil (Robi Polikar). Pada CWT, hubungan parameter skala dengan frekuensi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Matlab, 2008) :

$$F_a = \frac{F_c}{\sigma \cdot \Delta} \quad (2.2)$$

dimana F_a = Frekuensi pseudo yang terkait pada skala (Hz)

F_c = Frekuensi pusat pada wavelet (Hz)

σ = skala

Δ = waktu *sampling*

Grafik waktu-frekuensi dapat diperoleh dengan metode CWT dengan mengkonversikan nilai skala menjadi frekuensi dengan persamaan (2.2). Kelebihan metode CWT yang tidak memerlukan penentuan panjang jendela, memiliki

resolusi waktu yang bagus pada frekuensi tinggi, dan memiliki resolusi frekuensi yang bagus pula pada frekuensi rendah dapat digunakan untuk analisis waktu-frekuensi untuk sinyal yang tidak stasioner seperti sinyal seismik.

2.3 Anomali Frekuensi Rendah

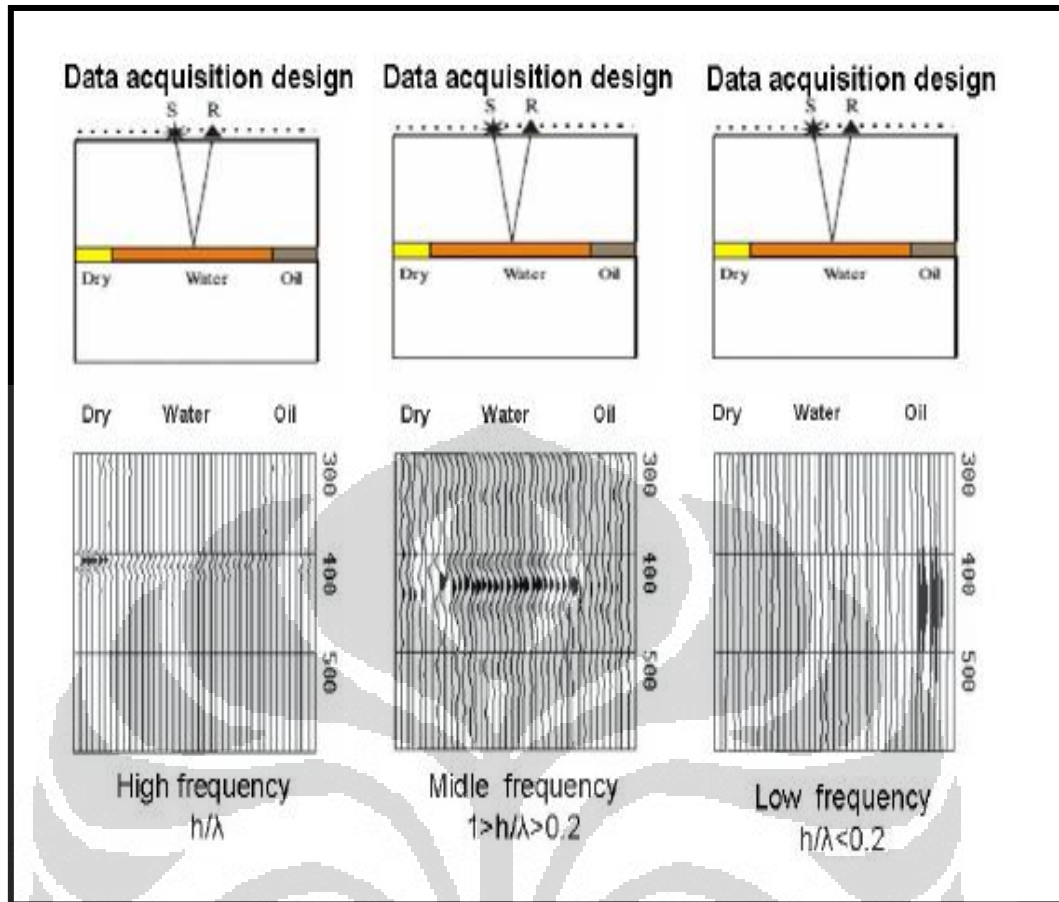
Anomali frekuensi rendah pada seismik merupakan efek dari batuan porous yang tersaturasi oleh fluida seperti yang telah dideskripsikan dengan teori poro-elastic gelombang dan hasil tes sumur (Korneev, 2004). Secara sederhana, koefisien refleksi dari gelombang seismik yang melewati batuan yang porous tersaturasi fluida akan diformulasikan sebagai berikut :

$$R = R_0 + (1 + i) \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\eta}} \omega R_1 \quad (2.3)$$

dimana ω merupakan frekuensi dari gelombang seismik, ρ merupakan densitas batuan, κ merupakan permeabilitas batuan dan η merupakan viskositas fluida. Persamaan reflektivitas dapat dideskripsikan sebagai berikut :

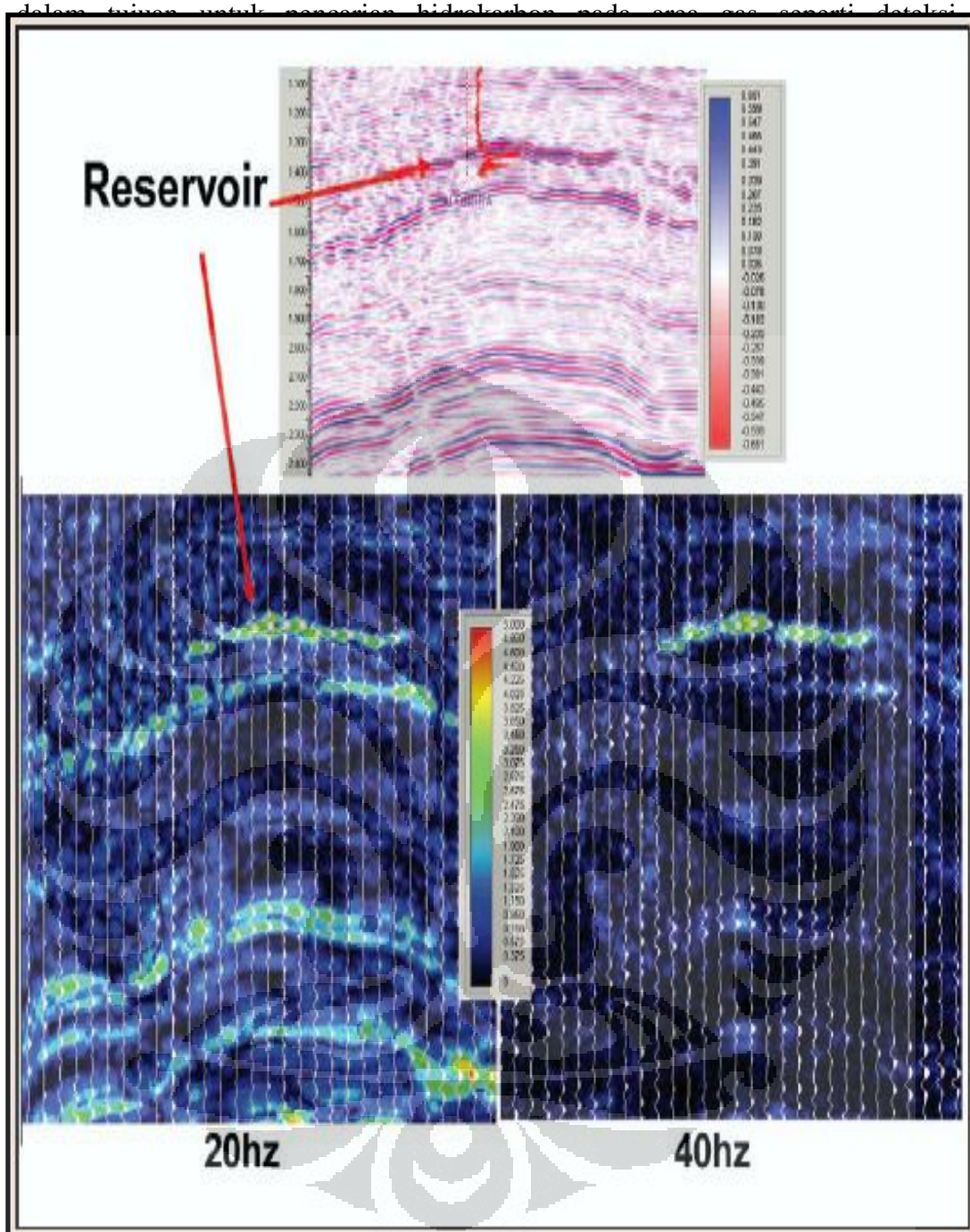
$$R = \sqrt{\left(R_0 + \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\eta}} \omega R_1\right)^2 + \frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1^2 \left(\cos\left(\arctan\left(\frac{\frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1}{R_0 + \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\eta}} \omega R_1}\right)\right) + i \sin\left(\arctan\left(\frac{\frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1}{R_0 + \sqrt{\frac{\kappa\rho}{\eta}} \omega R_1}\right)\right)\right)} \quad (2.4)$$

Reflektivitas akan bernilai maksimum jika nilai $\frac{\kappa\rho}{\eta} \omega R_1$ mendekati nol atau dengan kata lain, frekuensi seismik menjadi rendah. Gambar 2.3 menjelaskan respon seismik dari test laboratorium untuk membedakan zona reservoir kosong dan tersaturasi oleh air atau minyak (Korneev, 2004).



Gambar 2.3 : Respon seismik refleksi dari percobaan Lab (Korneev, 2004)

Beberapa penelitian menggunakan metode CWT banyak diaplikasikan dan mampu membuktikan respon terhadap keberadaan hidrokarbon. Pada tahun 2003, Burnett et al melakukan studi dengan mengaplikasikan spektral dekomposisi berbasis CWT untuk basin gas di Meksiko dimana anomali amplitudo disebabkan oleh efek tuning lapisan tipis dan kandungan gas pada reservoir. Hasil dekomposisi spektrum dengan metode CWT, akan memberikan respon yang tinggi dengan ditandai dengan daerah yang lebih terang. Hal ini disebabkan karena reservoir yang terdapat keberadaan gas akan membuat koefisien refleksi menjadi lebih besar daripada daerah sekitarnya (Gambar 2.4), selain itu adanya efek tuning juga dapat memberikan daerah yang lebih terang karena gelombang hasil refleksi dari bagian atas dengan bagian bawah pada lapisan akan berinterferensi saling membangun (konstruktif) dan mengakibatkan amplitudo akan meningkat. Teknik dekomposisi spektral berbasis CWT ini telah terbukti



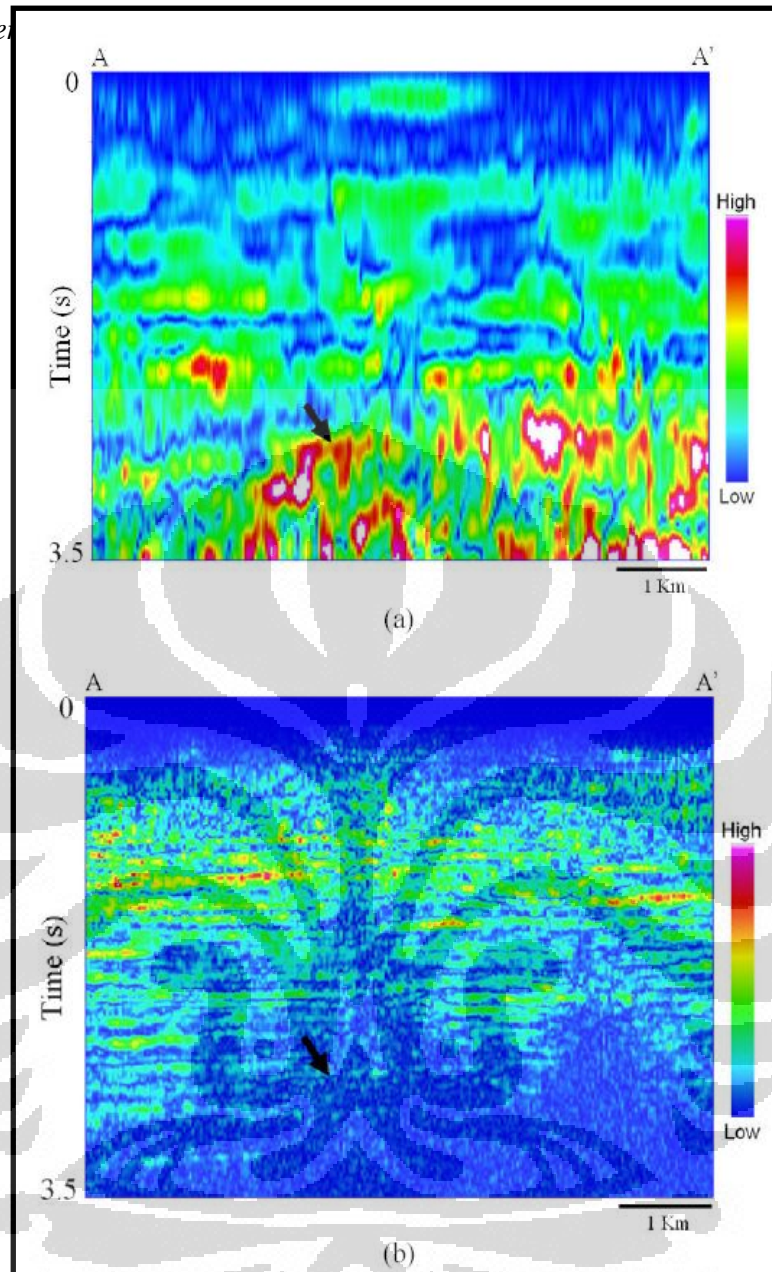
Gambar 2.4 : Hasil CWT pada frekuensi 20 Hz dan 40 Hz daerah basin gas Meksiko
(Burnett at al, 2003)

Pada tahun 2006, Jianle Liu dalam tesisnya berjudul *Spectral Decomposition and Its Application in Mapping Stratigraphy and Hydrocarbon*, telah menunjukkan keberadaan reservoir yang mengandung hidrokarbon yang terkait dengan daerah

Universitas Indonesia

low frequency
berikut :

am gambar



Gambar 2.4 : Penampang frekuensi tunggal (a) 10 Hz (b) 60 Hz pada seismik line A-A' ditandai dengan panah hitam menunjukan reservoir hidrokarbon (Liu, 2006)

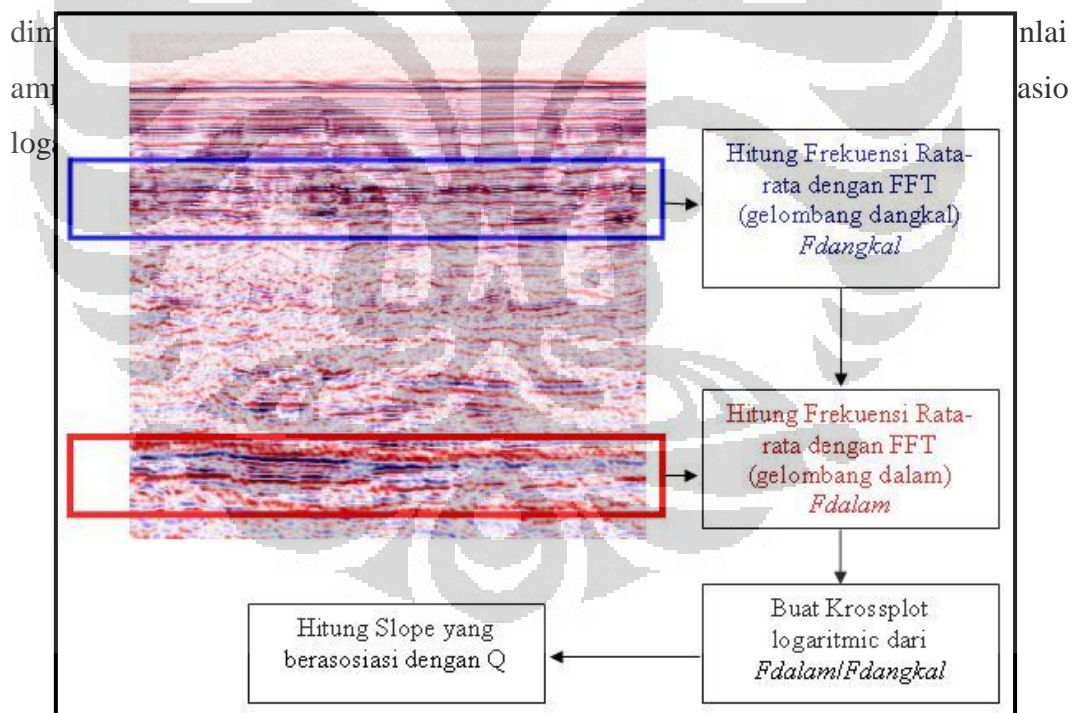
2.4 Faktor Kualitas

Faktor kualitas yang dilambangkan dengan Q merupakan kompensasi energi yang hilang setiap *cycle* saat gelombang tersebut merambat. Faktor kualitas ini berkaitan erat dengan atenuasi. Atenuasi merupakan proses pelemahan amplitudo

Universitas Indonesia

dalam perambatannya dalam medium. Gelombang yang melewati medium tertentu dan menghasilkan nilai Q yang rendah dapat diartikan gelombang tersebut mengalami gangguan dalam perambatannya berupa pelemahan dari amplitudo gelombang tersebut, dengan kata lain lebih teratenuasi. Begitupun sebaliknya nilai Q yang tinggi memiliki arti bahwa gelombang memiliki transmisi yang baik atau sedikit teratenuasi. Didalam aplikasi seismik eksplorasi, besaran Q diprediksi untuk memberikan kompensasi terhadap amplitudo gelombang seismik yang hilang dalam perambatannya. Pada saat ini analisis Q mulai dilirik sebagai metoda yang dapat berperan didalam karakterisasi reservoir. Hal ini dilakukan karena Q lebih sensitif terhadap kehadiran gas maupun temperatur daripada sifat kecepatan gelombang seismik (Abdullah, 2009).

Metoda yang sering digunakan dalam penentuan nilai Q yaitu metoda rasio spektral, yakni dengan melakukan perbandingan amplitudo seismik pada daerah dangkal dimana didaerah ini atenuasi masih sedikit dan dengan daerah dalam



Gambar 2.5 : Langkah kerja dalam perhitungan Q (Abdullah, 2009)

Metode rasio spektral pada hakekatnya membandingkan spektrum amplitudo di suatu tempat $B(\omega)$ terhadap spektrum amplitudo di satu referensi $B_0(\omega)$ (Munadi, 2012). Berbeda dengan aplikasi spektral rasio sebelumnya yang menggunakan perbandingan anantara amplitudo dangkal dengan dalam, pada studi ini, digunakan persamaan dibawah untuk menganalisis dari pelemahan atau atenuasi yang hilang pada frekuensi tinggi akibat keberadaan dari hidrokarbon yang merupakan tindak lanjut dari dekomposisi spektral.

$$B(\omega) = B_0(\omega)e^{-\omega t/2Q} \quad (2.3)$$

atau

$$\ln[B(\omega)] = \ln[B_0(\omega)] - \frac{\omega t}{2Q} \quad (2.4)$$

Dimana B merupakan amplitudo pada frekuensi tinggi, sedangkan B_0 merupakan amplitudo pada frekuensi rendah. Karena $\omega=2\pi f$, maka persamaan (2.4) dapat dituliskan menjadi:

$$\ln[B(\omega)] = \ln[B_0(\omega)] - \frac{\pi f t}{Q} \quad (2.5)$$

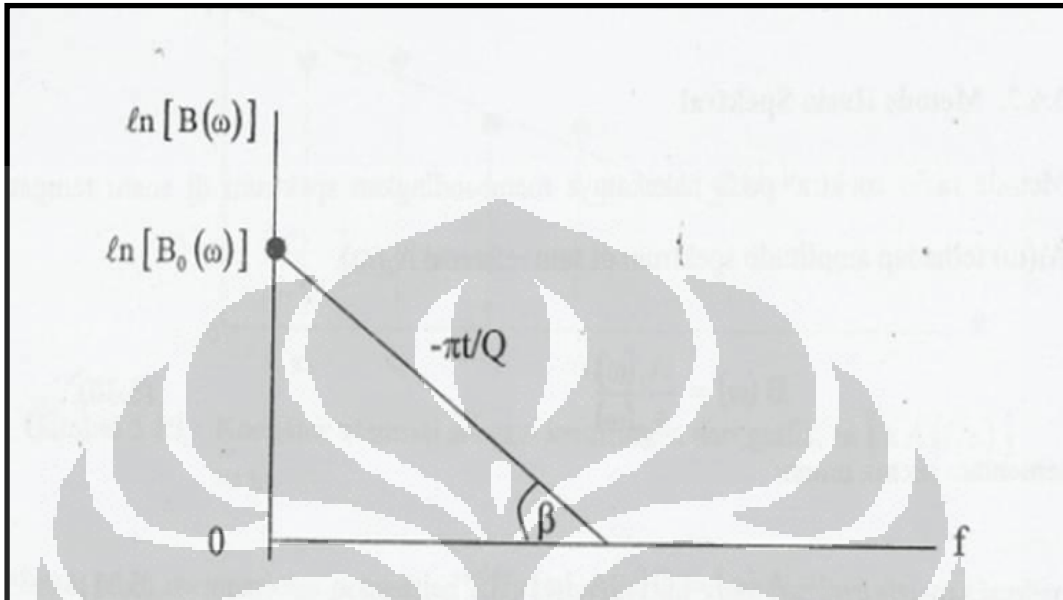
Persamaan (2.5) menyatakan bahwa plot antara rasio spektrum $\ln[B(\omega)]$ terhadap frekuensi, maka grafiknya akan berupa suatu garis lurus dengan kemiringan (slope) $-\pi t/Q$ (gambar 9). Kemiringan diartikan sebagai konstanta β maka faktor kualitas kini dapat dihitung dari

$$Q = \frac{\pi t}{\beta} \quad (2.6)$$

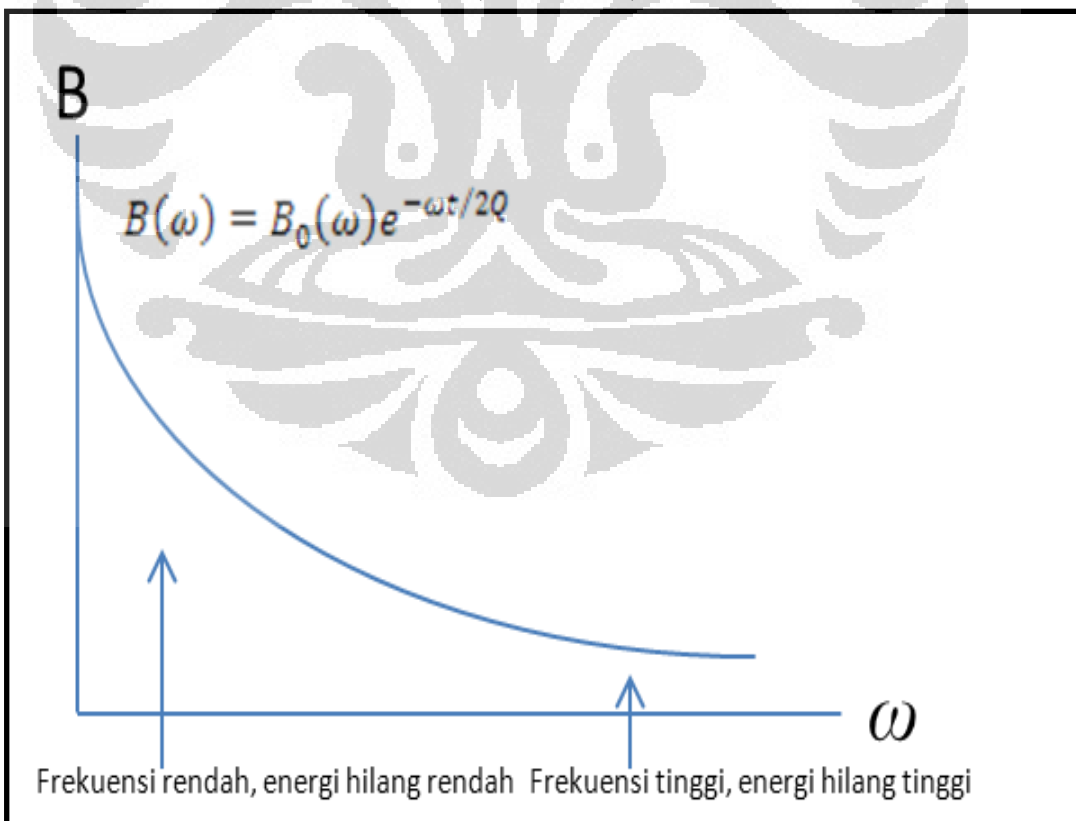
Dengan catatan t adalah waktu penjalaran untuk menempuh jarak $x_1 - x_2$ dan menggunakan satuan *nepers/wavelength*. Jika diubah ke dalam satuan β *decibel/wavelength*, maka persamaan (2.6) menjadi (Hauge, 1981).

$$Q = \frac{27.3t}{\beta} \quad (2.7)$$

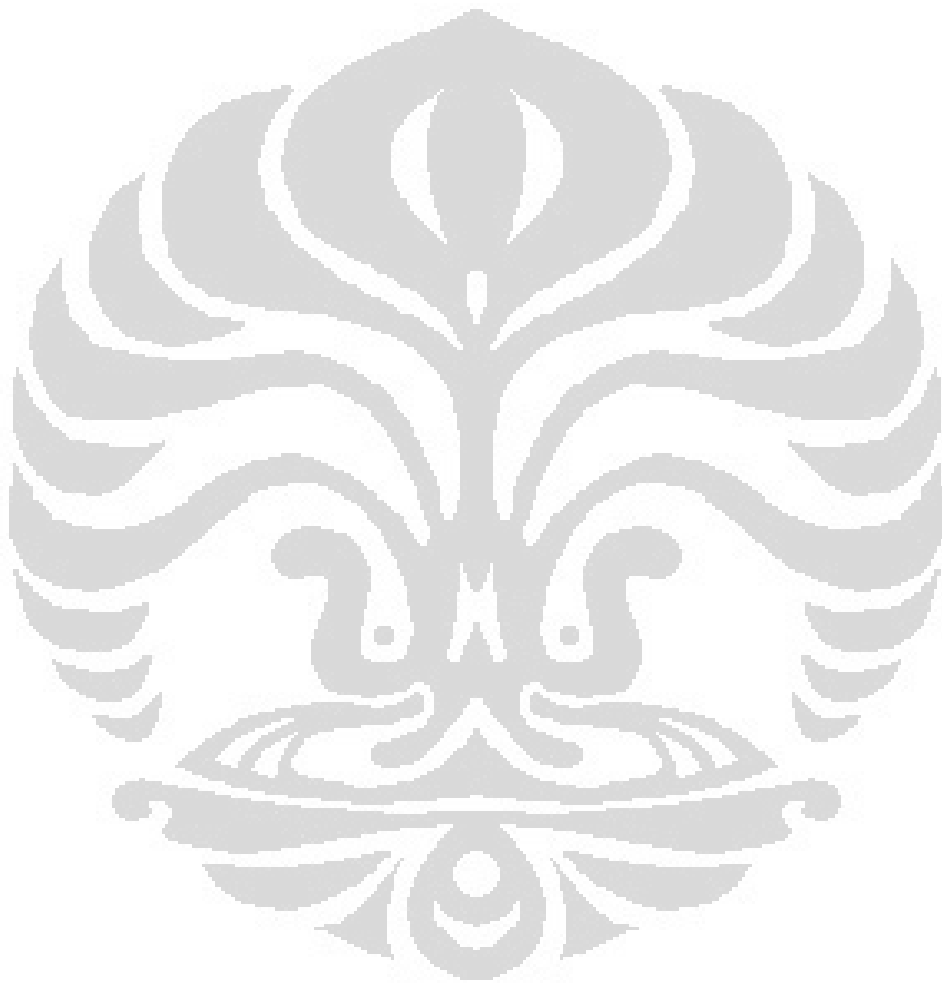
Dengan persamaan 2.5 dan 2.7, maka dapat diaplikasikan untuk menganalisis dekomposisi spektral yang menghasilkan nilai berupa faktor kualitas Q .



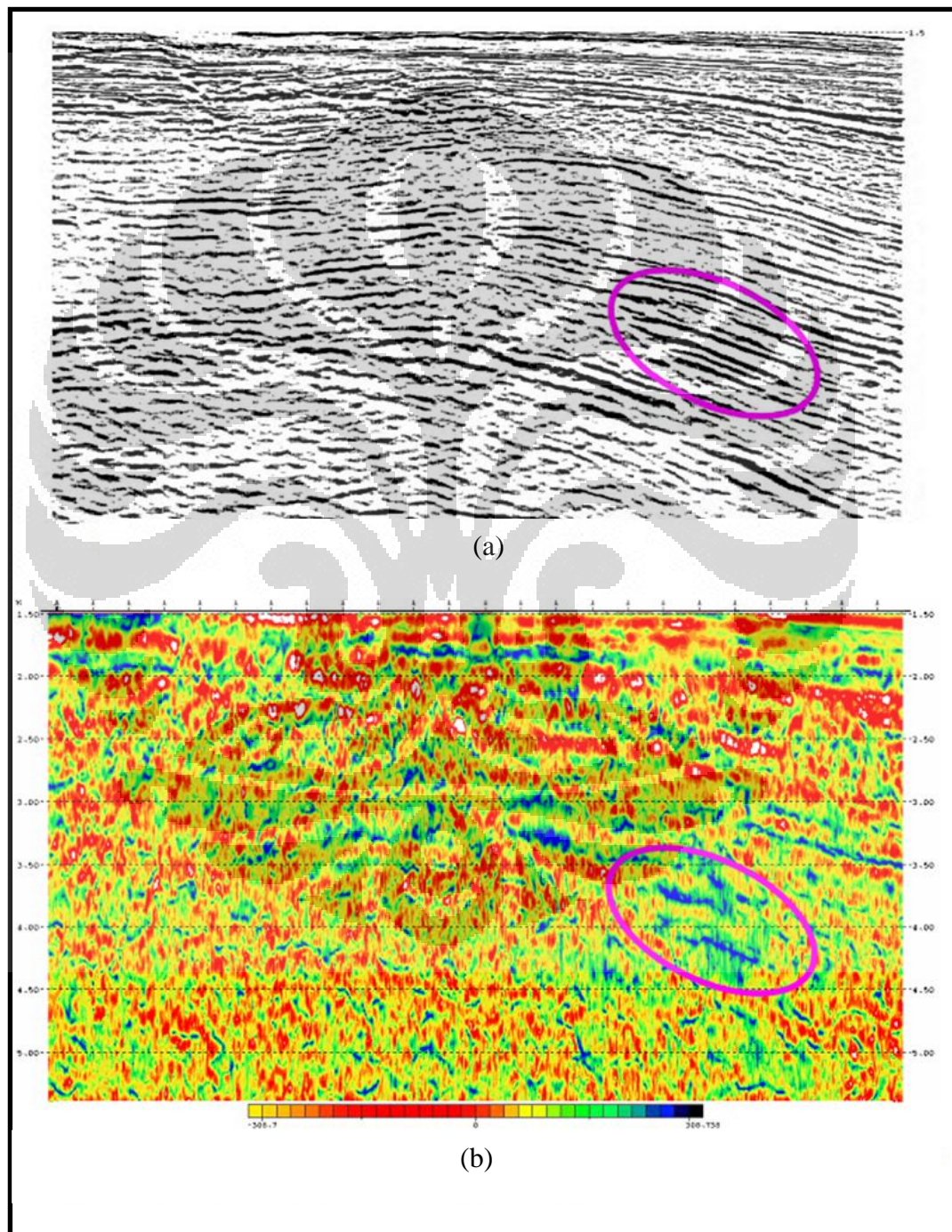
Gambar 2.6: Penentuan faktor kualitas dengan metode rasio spektral (Munadi, 2000)



Gambar 2.7 : Pelemahan secara eksponensial energi pada frekuensi tinggi

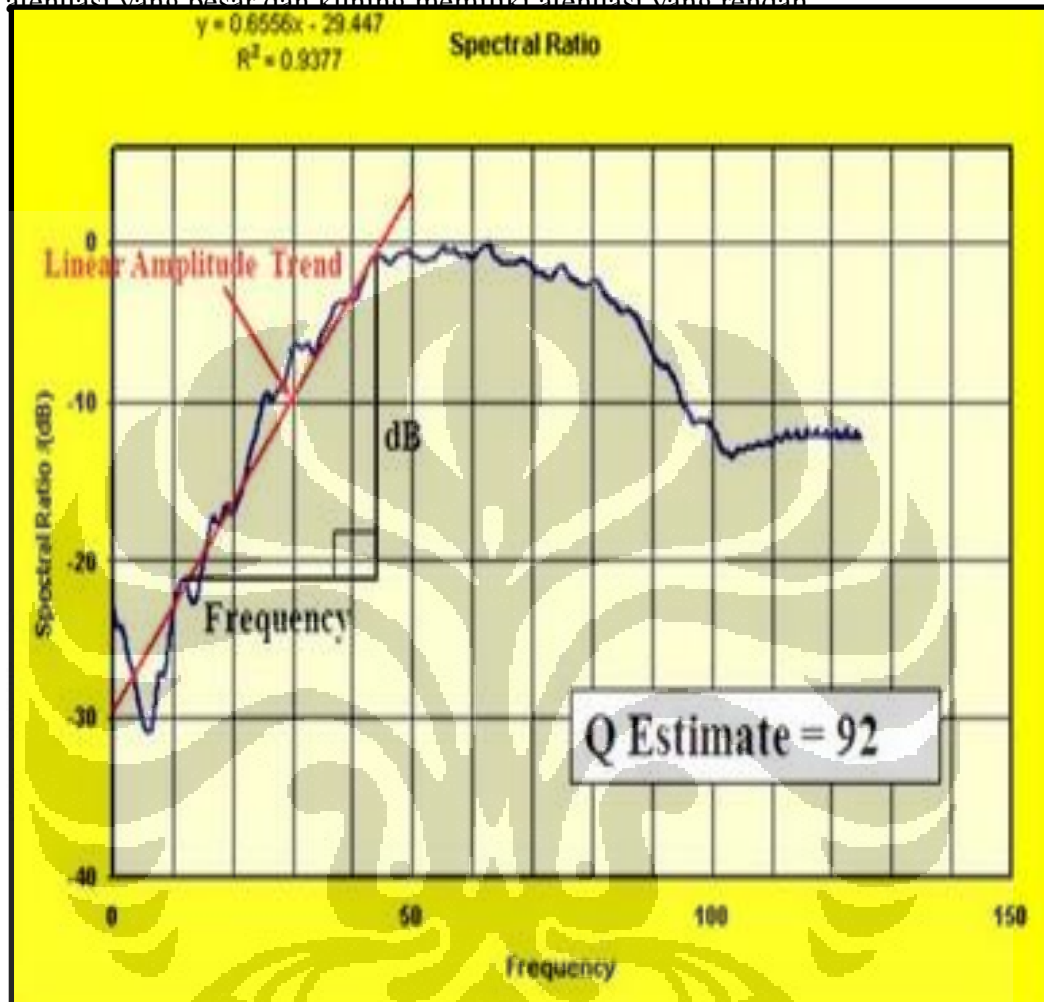


Untuk menghitung faktor kualitas maka dilakukan perbandingan spektral antara amplitudo pada frekuensi rendah dengan frekuensi tinggi hasil analisis dekomposisi spektral (gambar 10). Dengan membuat sebuah *linear amplitude trend* di mana jika kemiringan (slope) dari garis linier ini kita masukkan ke persamaan (2.7) akan didapatkan besarnya harga Q.



Gambar 2.8 : (a) Seismik konvensional Gulf Mexico (b) Gradien hasil rasio spektral (Walls, 2006)

Gambar 11 menunjukkan salah satu contoh hasil dari rasio spektral pada daerah Gulf Mexico, dimana warna biru hitam menunjukkan daerah yang memiliki atenuasi yang besar dan kuning memiliki atenuasi yang rendah

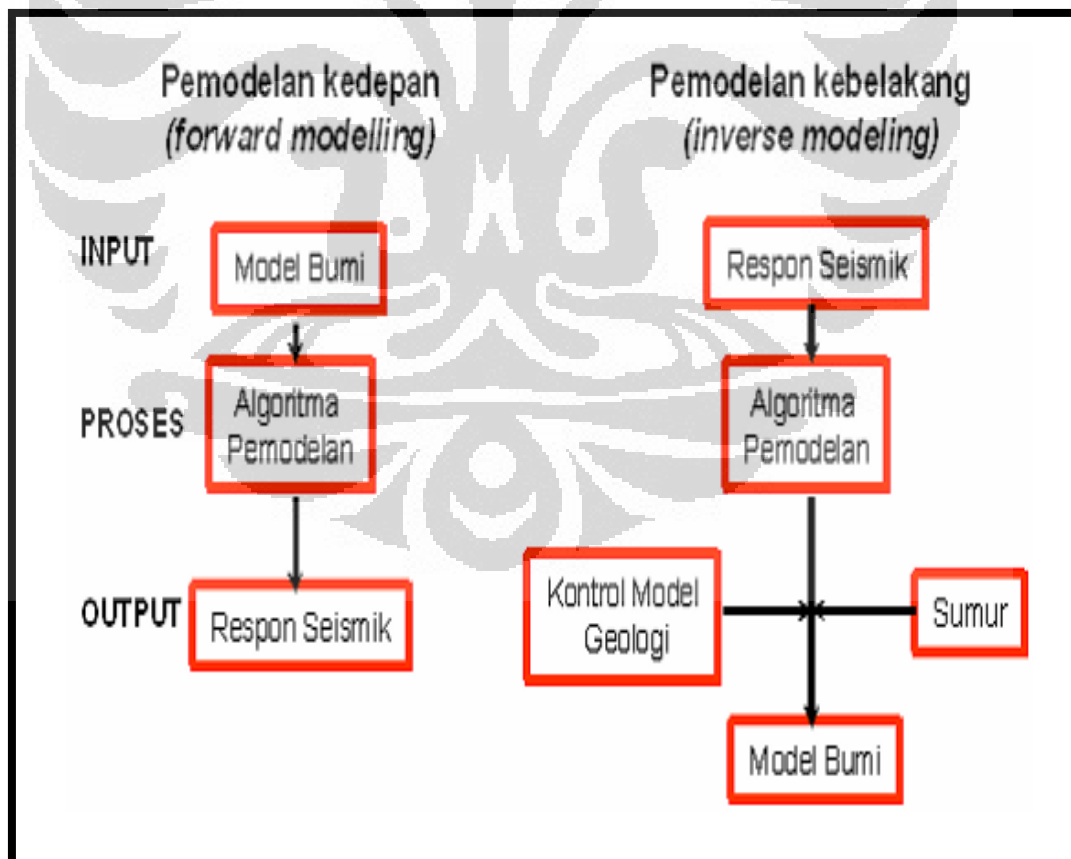


Gambar 2.9. Estimasi harga Q dengan cara rasio spektral. Kemiringan dari garis linier (merah) jika dimasukkan ke dalam persamaan (2.7) akan memberikan estimasi harga Q (Abdullah, 2009)

2.5 Inversi seismik

Inversi merupakan suatu teknik untuk membuat model geologi bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000). Inversi seismik dilakukan untuk mendapatkan kembali nilai impedansi akustik dari data seismik. Karena impedansi akustik merupakan salah satu parameter yang menyatakan sifat fisis batuan, maka impedansi akustik yang didapatkan ini dapat dengan lebih mudah dikonversi menjadi parameter fisis batuan yang lebih spesifik lainnya.

Pada dasarnya tehnik ini digunakan untuk mengubah data seismik menjadi parameter fisika lain untuk dapat mengkarakterisasi batuan bawah permukaan, sehingga dapat diharapkan untuk mengetahui penyebaran secara lateral dengan dituntun oleh data sumur yang ada. Proses yang dilakukan dalam teknik inversi adalah dengan melakukan dekonvolusi terhadap trace seismik untuk mendapatkan koefisien refleksi. Kemudian koefisien refleksi ini digunakan untuk mendapatkan nilai impedansi akustik.



Gambar 2.10 : Skema pemodelan kedepan dan inversi (Sukmono, 2000)

Secara umum inversi seismik dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu inversi *pre-stack* dan inversi *post-stack*. Inversi *pre-stack* dilakukan pada seismik yang belum di-*stack* atau masih dalam *CDP gather*, begitupun sebaliknya dengan *post-stack*. Metode inversi berbasis model (Model Based Inversion) disebut juga metode *blocky* karena impedansi akustik tersusun dari blok-blok kecil. Konsep inversi dengan metode ini dimulai dengan membuat model inisial impedansi akustik dengan ukuran blok yang telah ditentukan. Koefisien refleksi diturunkan dari impedansi akustik dan dikonvolusikan dengan wavelet yang menghasilkan seismogram sintetik pada tiap-tiap trace. Seismogram sintetik ini kemudian dibandingkan dengan trace seismik sebenarnya dan dihitung kesalahannya. Proses ini dilakukan secara iteratif dengan memodifikasi blok *trace* model hingga diperoleh hasil sintetik dengan kesalahan terkecil. Impedansi akustik hasil modifikasi model awal inilah yang merupakan hasil akhir inversi. Secara matematis, inversi model based dapat dirumuskan :

$$S_t = W_t * RC_t + n_t \quad (2.15)$$

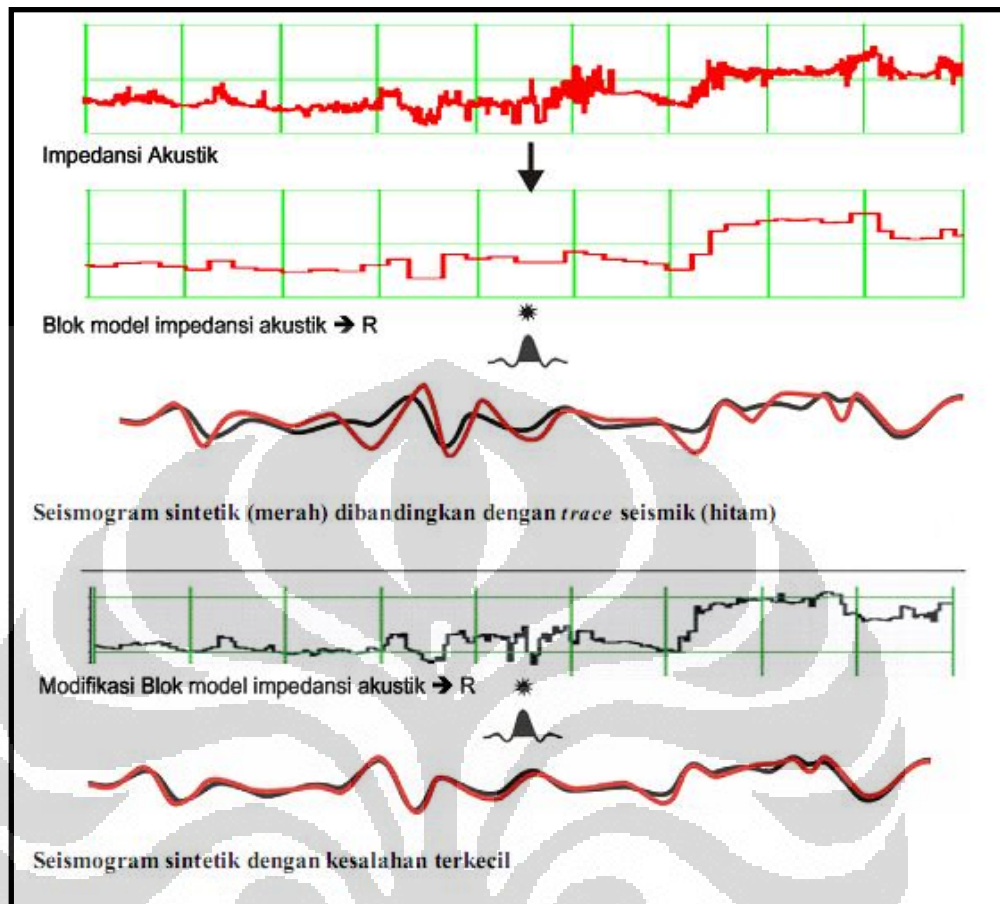
dimana, S_t = Trace Seismik

W_t = Wavelet Seismik

RC_t = Reflektifitas Bumi

n_t = Noise

Metode inversi *model based* mempunyai keunggulan karena hasil yang didapatkan memiliki kontrol yang baik karena menghindari inversi langsung dari data seismik. Hasil inversi digambarkan dalam bentuk *blocky* yang memiliki nilai impedansi akustik yang kontras, sehingga mempermudah dalam penentuan batas suatu lapisan reservoir. Kelemahan inversi model based terletak pada ketidakunikan inversi. Dengan kata lain, ada banyak kemungkinan solusi model untuk dapat menghasilkan suatu keluaran hasil yang sama.



Gambar 2.11 : Proses inversi berdasarkan model (HRS, 2007)

Hasil akhir dari suatu proses inversi seismik adalah berupa data impedansi akustik yang memiliki informasi lebih lengkap dibandingkan data seismik. Perubahan amplitudo pada data seismik hanyalah mencerminkan suatu bidang batas antar lapisan batuan sehingga bisa dikatakan bahwa data seismik adalah atribut dari suatu bidang batas lapisan batuan, sedangkan impedansi akustik mencerminkan sifat fisis dari batuan. Secara matematis impedansi akustik batuan adalah hasil perkalian antara kecepatan dengan nilai densitas suatu batuan, sehingga dapat dituliskan :

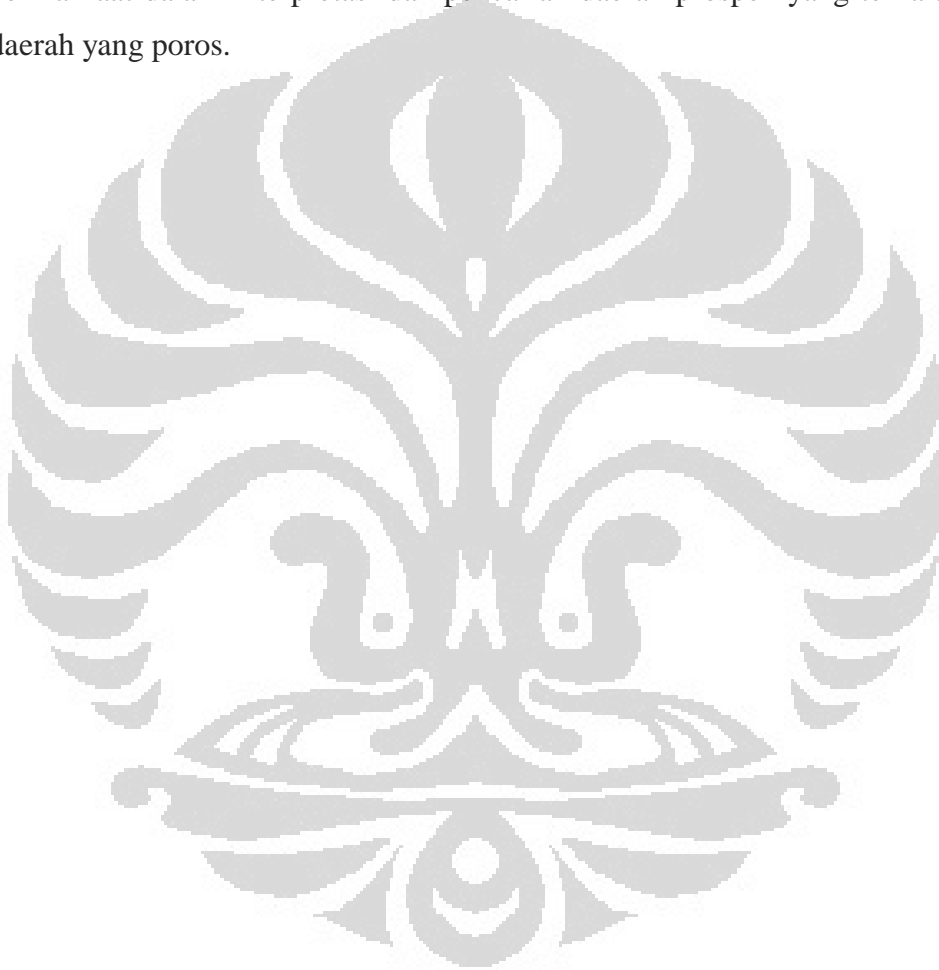
$$Z = \rho \cdot v \quad (2.16)$$

dimana Z = Impedansi Akustik

ρ = Densitas Batuan

v = Kecepatan Gelombang Seismik

Gelombang seismik refleksi terjadi disebabkan oleh perubahan impedansi akustik lapisan. Nilai kontras impedansi akustik dapat disebabkan oleh perbedaan nilai densitas batuan dan kecepatan gelombang seismik melewati batuan tersebut. Jadi dapat dilihat bahwa data seismik konvensional mendeskripsikan obyek bawah permukaan dalam bentuk bidang batas antara lapisan-lapisan batuan, sedangkan impedansi akustik sebagai hasil inversi akan mendeskripsikan obyek bawah permukaan tersebut sebagai lapisannya itu sendiri. Hasil impedansi akustik ini bermanfaat dalam interpretasi dan pencarian daerah prospek yang terkait dengan daerah yang porous.



BAB III

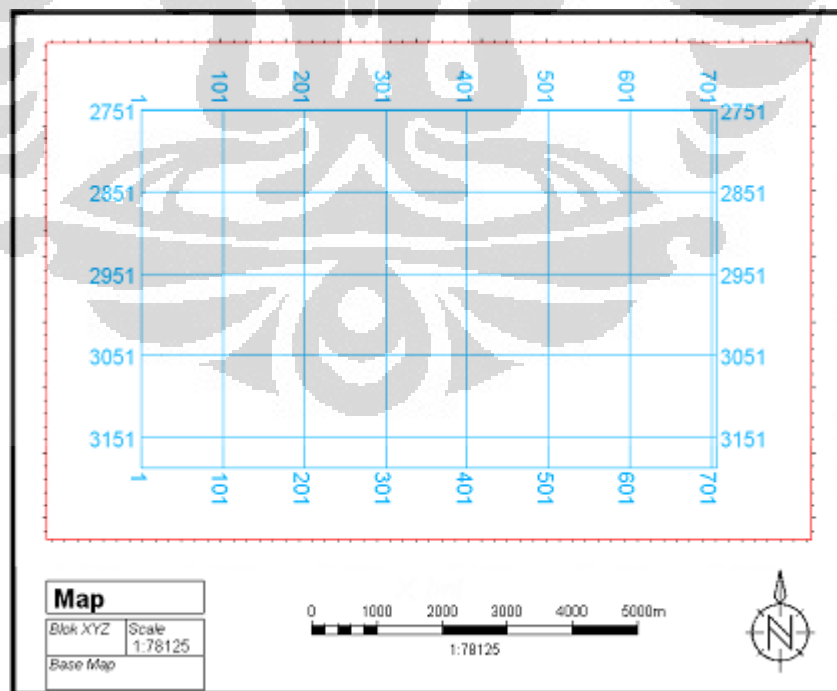
APLIKASI INVERSI SEISMIK DAN DEKOMPOSISI SPEKTRAL

3.1 Ketersediaan Data

Pada studi ini digunakan software matlab untuk pengolahan data untuk dekomposisi spektral dengan algoritma CWT, Humpson Russel untuk pengolahan data inversi seismik, Microsoft Office, dan Petrel untuk interpretasi dan menampilkan gambar dari metode geofisika tersebut. Gambar 3.1 menunjukkan basemap dari seismik dalam penelitian ini.

Adapun ketersediaan data sebagai berikut :

- Data seismik PSTM 3D
 - Jumlah Inline : 438
 - Jumlah Cross line : 707
 - Kedalaman : 2500 ms
 - Luas : 8.4 km x 5.4 km
- Satu buah well, lengkap dengan *check-shot*, *well top reservoir*, kurva *Gamma Ray*, *Sonic*, *Resistivity*, *Density*, dan *Neutron* (Tabel 3.1)



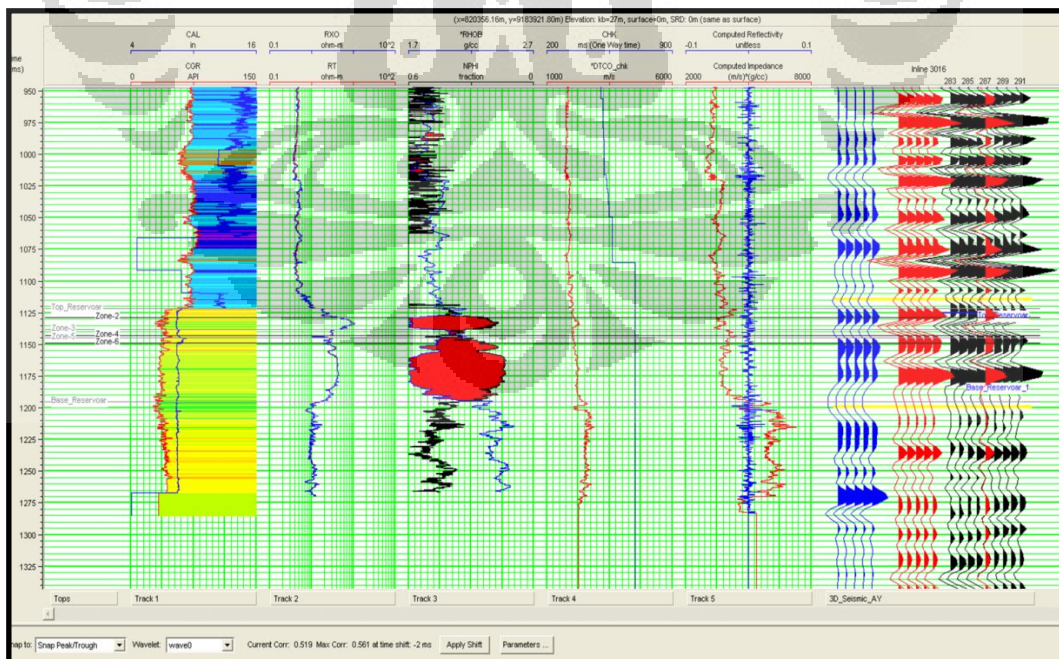
Gambar 3.1: Base Map lapangan XYZ

Tabel 3.1 : Statistik data sumur XYZ

Name	Type	Min	Max	Delta
DEPT	Cont.	396.24	1129.28	733.04
GR	Cont.	28.76	158.47	129.7
CAL	Cont.	3.69	23.11	19.42
RXO	Cont.	0.34	97543.42	97543.08
RT	Cont.	-0.01	81912.81	81912.82
RHOB_INVASION_COR	Cont.	1.66	4.63	2.97
NPHI	Cont.	0.14	4.22	4.09
PEF	Cont.	2.37	14.31	11.94
DTCO	Cont.	106.97	189.45	82.48
General time 1	Cont.	0	719.74	719.74
DEPTH	Cont.	396.24	1129.28	733.04
SW_BASE_CASE_SPLICE	Cont.	0.17	1	0.83
CGR	Cont.	25.61	85.65	60.04
DTSM	Cont.	100.23	770.44	670.21
RHOB_INVASION_COR 2	Cont.	1.67	4.3	2.63

3.2 Persiapan Data

Pada tahap ini dilakukan proses loading data ke dalam software yang telah tersedia, dengan memasukkan parameter-parameter yang dibutuhkan baik dari data seismik maupun dari data sumur. Selain itu juga mengkorelasikan sumur dengan seismik sehingga terjadi pengikatan dengan presentasi baik yang dapat mewakili dari masing-masing formasi. Pengikatan sumur dengan seismik pada kali ini didapati nilai korelasi sebesar 0.56 (Gambar 3.2). Tahap ini sangat menentukan dalam proses seismik atribut.

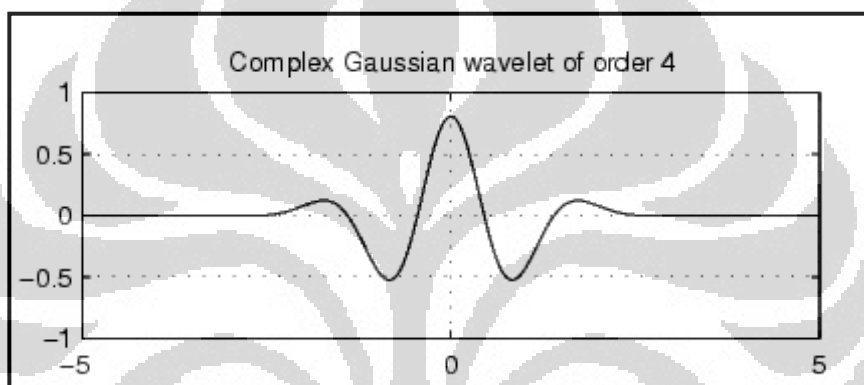


Gambar 3.2: Pengikatan data sumur dengan seismik

3.3 Proses Dekomposisi Spektral

Dekomposisi spektral merupakan proses penguraian data seismik untuk dapat menampilkan frekuensi tertentu dalam rangka membantu mengidentifikasi zona reservoir dan fitur geologi lainnya.

Studi ini dilakukan pengolahan data menggunakan dekomposisi spektral dengan algoritma CWT. Algoritma CWT membutuhkan wavelet dalam pengolahannya, untuk itu digunakan wavelet *Complex Gaussian*. Hal ini dipilih karena wavelet *Complex Gaussian* mampu memberikan gambar yang lebih baik atau lebih fokus dalam hal resolusi dibandingkan dengan wavelet morlet (gambar 3.3).



Gambar 3.3 : Wavelet Complex Gaussian (Matlab, 2008)

Data tiga dimensi yang digunakan memiliki frekuensi dominan sebesar 25 Hz. Dengan mengetahui nilai frekuensi dominan ini, dapat diperkirakan untuk mendekomposisi frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Pada data ini dilakukan pemisahan frekuensi dari 10, 20, 30, dan 40 Hz. Hal ini dapat berguna untuk memprediksi zona yang memiliki anomali frekuensi rendah yang mendeskripsikan zona reservoir. Pada studi ini zona reservoir berisi gas terdeskripsikan oleh anomali frekuensi rendah pada frekuensi 10 Hz, dan untuk frekuensi tinggi di 40 Hz. Perbandingan amplitudo antara frekuensi rendah dengan frekuensi tinggi dapat diartikan terjadi penyerapan energi atau atenuasi energi pada frekuensi tinggi secara kualitatif.

3.4 Proses Estimasi harga Q

Penentuan nilai atenuasi dari gelombang, selain karena faktor geometri juga dikarenakan heterogenitas dan keberadaan fluida di dalam lapisan bawah tanah. Sebagaimana diketahui pada sub-bab sebelumnya, bahwa dekomposisi spektral

Universitas Indonesia

dapat digunakan sebagai indikator keberadaan hidrokarbon. Secara kualitatif, dekomposisi spektral pada frekuensi rendah menunjukkan anomali frekuensi rendah dan frekuensi tinggi menunjukkan atenuasi energi yang disebabkan oleh keberadaan hidrokarbon. Estimasi harga Q dari studi ini dengan menggunakan metode spektral rasio dari amplitudo frekuensi yang didapat dari analisis dekomposisi spektral. Perbandingan amplitudo pada frekuensi rendah dengan frekuensi tinggi didapatkan kemiringan yang menunjukkan harga gradien frekuensi yang terkait dengan Q .

3.5 Proses Inversi seismik

Inversi seismik yang digunakan dalam penelitian ini adalah inversi seismik dengan menggunakan metode model base (*Model based inversion*). Inversi ini dilakukan setelah mendapatkan model awal. Model ini kemudian dikonvolusikan dengan wavelet hasil ekstraksi dari proses pengikatan seismik dengan sumur. Estimasi wavelet mempunyai peranan yang sangat penting dalam proses inversi, karena kesesuaian data sintetik dengan data seismik tergantung dari wavelet yang baik atau tidak. Wavelet yang baik akan menyebabkan adanya kesesuaian antara data sintetik dan data seismik, dan begitu pula sebaliknya. Input dalam estimasi wavelet ini adalah data seismik, data sumur hasil *well seismic tie*, dan horizon-horizon yang telah di *picking* mulai dari Top Reservoir sampai ke Base Reservoir. Parameter-parameter yang diatur dalam estimasi wavelet ini bertujuan untuk mendapatkan spektrum amplitudo wavelet menyerupai data seismik, spektrum reflektivitas data hasil inversi menyerupai data seismik awal, dan nilai residual reflektivitas keduanya tidak besar.

Proses konvolusi ini menghasilkan seismogram sintetik yang selanjutnya dibandingkan dengan trace seismik sebenarnya. Proses ini dilakukan secara iteratif sehingga diperoleh hasil dengan kesalahan yang terkecil. Nilai impedansi akustik dengan kesalahan terkecil inilah yang merupakan nilai impedansi akustik hasil inversi. *Sampling rate* 4 ms disesuaikan dengan waktu cuplik data untuk menghindari terjadinya aliasing.

Studi inversi memberikan hasil berupa akustik impedansi yang berkorelasi dengan porositas. Dimana terlihat pada daerah reservoir memberikan respon akustik impedansi yang rendah dibanding sekitarnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Interpretasi Seismik

Lapangan XYZ berlokasi pada daerah yang memiliki sistem petroleum yang telah terbukti dan dibatasi oleh patahan RMKS disebelah utara dan *uplifted* sebelah selatan. Zona reservoir ini terbagi menjadi dua yaitu reservoir atas dan bawah, dimana reservoir atas berada pada kedalaman 979 sampai 1045 meter, reservoir bawah berada pada kedalaman 1045 sampai 1126 meter. Selain itu pada reservoir tersebut memiliki ketebalan keseluruhan sekitar 140 meter. Reservoir lapangan XYZ ini merupakan reservoir dengan batuan *globigerina limestone*. Pada reservoir atas merupakan *limestone* yang masif dengan sedikit perselingan *claystone*, sedangkan pada reservoir bawah merupakan *limestone* yang disisipi oleh *claystone*.

Data seismik xline 286 yang melintasi sumur XYZ dengan kurva merah merupakan kurva *gamma ray* dan kurva putih merupakan kurva resistivitas, terlihat struktur antiklin yang telah terpenetrasi oleh sumur tersebut (Gambar 4.1). Pada kedalaman 700 hingga 800 ms terlihat amplitudo seismik yang tidak jelas, hal tersebut dapat dimungkinkan sebagai batuan penutup yang cukup tebal. Ini merupakan formasi dengan batuan *claystone* yang masif. Pada kedalaman 1000 ms terlihat amplitudo seismik yang cukup jelas dengan ketidak menerusan pada sebelah utara sumur XYZ, hal ini dapat diinterpretasikan sebagai patahan normal. Selain itu pada kedalaman 1100 ms hingga 1260 ms terlihat amplitudo seismik yang cukup jelas, hal ini merupakan lapisan yang mengandung batuan *limestone*, yang selanjutnya merupakan reservoir yang telah terbukti terdapat gas. Selain itu pula pada seismik terlihat ada nya indikator hidrokarbon pada reservoir yaitu berupa kontak gas dengan air (GWC) pada kedalaman 1250 ms.

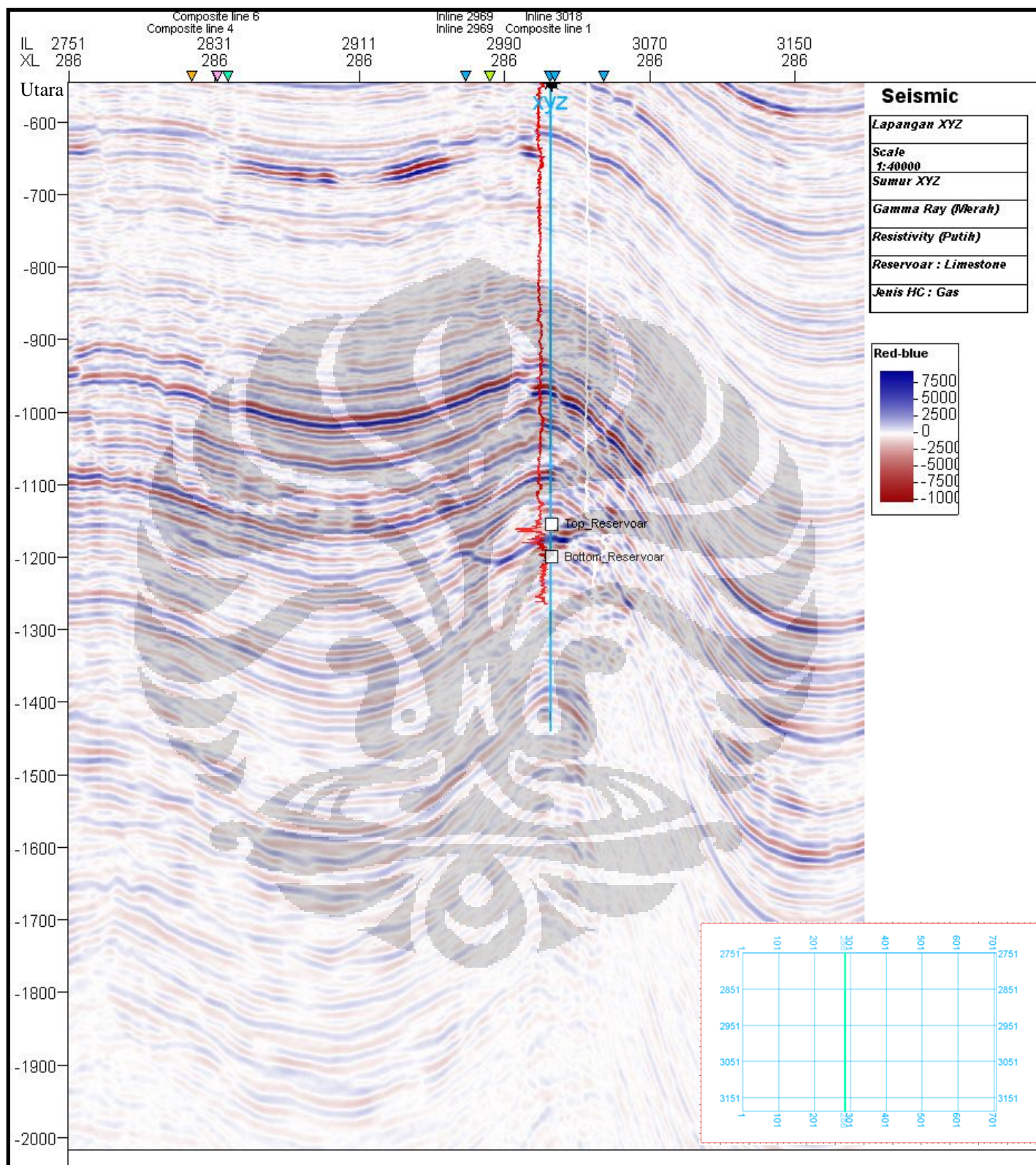
Pada *timeslice* 1170 ms, terlihat klosur yang mengelilingi sumur XYZ, klosur ini terkait dengan struktur antiklin pada reservoir, dan diperkirakan dari *timeslice* 1170 ms ini klosur antiklin tersebut mengarah Barat Laut – Tenggara. Pada daerah selatan lapangan ini terlihat beberapa patahan yang mengarah sejajar dengan arah antiklin diikuti oleh beberapa patahan kecil yang nampak berarah utara selatan

Universitas Indonesia

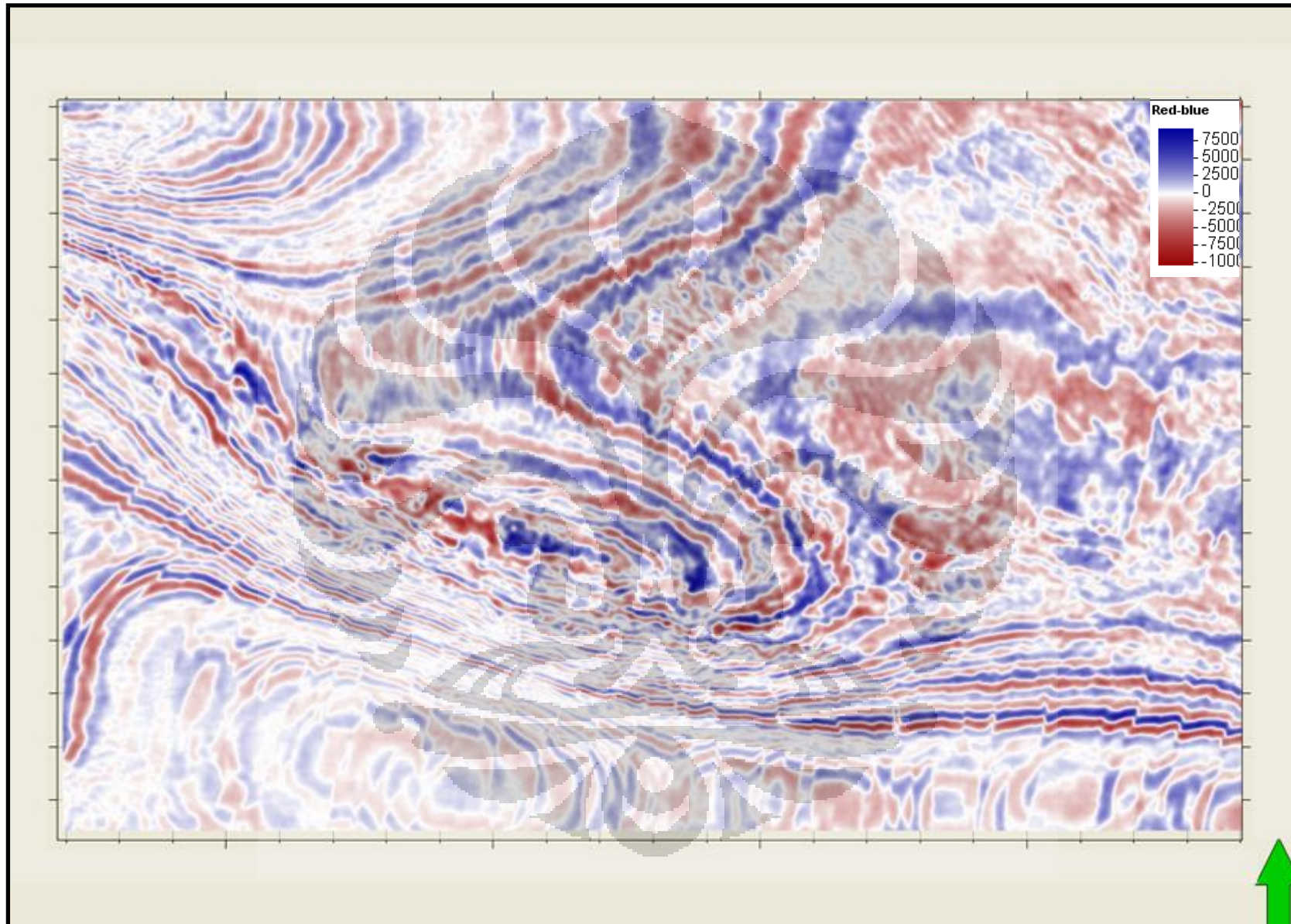
Sebelah Barat Laut terlihat kenampakan berupa klosur antiklin yang terlihat lebih tinggi, akan tetapi tidak tercukupi oleh data seismik. (Gambar 4.2).

Interpretasi telah dilakukan pada reservoir *globigerina limestone* dan telah dihasilkan peta struktur dengan arah Barat Laut – Tenggara pada domain waktu dan kedalaman (Gambar 4.3 dan 4.4). Arah struktur antiklin ini sama seperti yang tampak pada *timeslice* yang ditampilkan pada gambar sebelumnya. Terlihat patahan yang sejajar dengan arah antiklin disebelah selatan, dan zona depresi yang dalam pada daerah selatan. Pada daerah Barat Laut juga terdapat klosur yang tidak tercukupi oleh data seismik. Perbedaan peta struktur dalam domain waktu dan kedalaman tidak terdapat perbedaan yang signifikan atau memiliki pola yang sama. Peta ini mempermudah dalam pengambilan nilai atribut seismik yang telah dilakukan untuk membuat peta atribut, guna menginvestigasi lebih lanjut penyebaran daerah prospek secara lateral. Selain itu peta dalam domain kedalaman ini akan memudahkan dalam perhitungan cadangan.

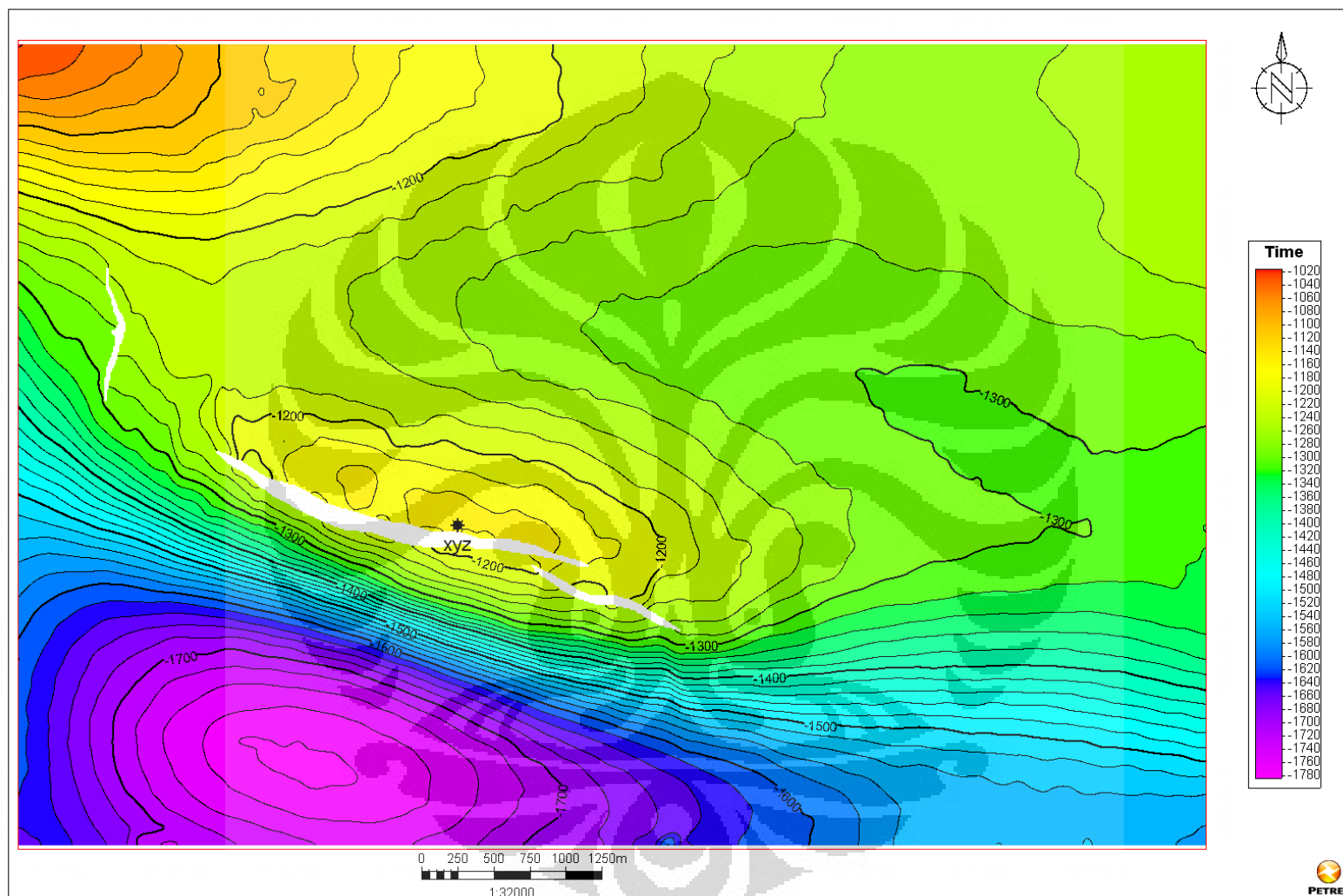
Jika daerah selatan ini merupakan *source* maka dapat dimungkinkan migrasi dari hidrokarbon mengisi struktur antiklin XYZ dengan migrasi vertical sepanjang patahan dan sehingga jika sudah mencapai *spill point*, hidrokarbon dapat bermigrasi ke Barat Laut yang memiliki tinggian.



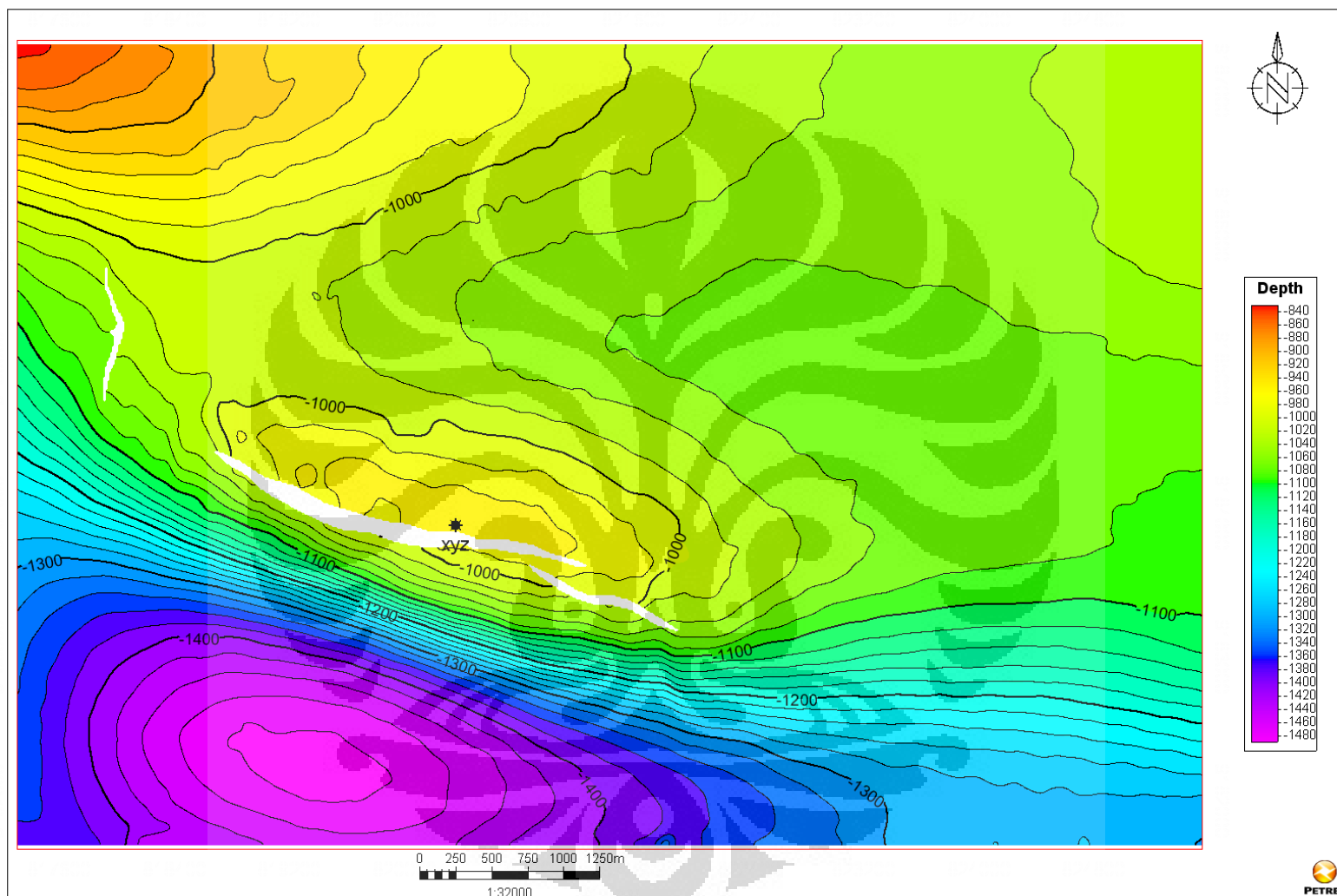
Gambar 4.1 : Seismik konvensional lapangan XYZ pada Xline 286



Gambar 4.2 : Seismik konvensional lapangan XYZ pada *timeslice* 1170 ms



Gambar 4.3 : Peta struktur antiklin Top Reservoar domain waktu



Gambar 4.4 : Peta struktur antiklin Top Reservoir domain kedalaman

4.2 Dekomposisi Spektral

Hasil dekomposisi spektral pada lapangan XYZ ini dapat merepresentasikan indikasi dari keberadaan hidrokarbon. Zona reservoir *limestone* dengan terisi gas terlihat pada frekuensi rendah 10 Hz (Gambar 4.5) . Dimana terlihat pada 20 Hz terjadi penyerapan energi yang cukup signifikan (Gambar 4.6) . Begitupula pada frekuensi 30 dan 40 Hz, terjadi penyerapan energi, terlihat dari nilai amplitudo yang tidak semakin melemah seiring bertambahnya frekuensi (Gambar 4.7 dan 4.8). Dengan justifikasi data sumur, menguatkan bahwa anomali frekuensi rendah dapat mengindikasikan keberadaan reservoir hidrokarbon. Hal tersebut terlihat dengan kurva resistivitas yang cukup tinggi pada zona gas. Akan tetapi, pada frekuensi rendah 10 Hz tidak didapati dua zona seperti yang terlihat pada kurva resistivitas dan *gamma ray*. Hal tersebut dapat disebabkan karena keterbatasan dalam resolusi dan hasil anomali berada di frekuensi rendah.

Pada zona atas dan bawah terlihat anomali terdeskripsikan oleh nilai amplitudo 0.9 keatas yang ditandai dengan warna merah jambu, terlihat batas bawah reservoir terdeskripsikan oleh nilai amplitudo sebesar 0.7 kebawah atau warna kuning. Xline 286 pada frekuensi 10 Hz ini terdapat beberapa anomali frekuensi rendah, yaitu pada zona reservoir yang telah terbukti melalui data sumur, dan dilapisan bawah reservoir yang berada pada kedalaman 1200 ms atau di sisi samping antiklin, dan di kedalaman 1400 ms. Akan tetapi anomali frekuensi rendah ini hanya memiliki amplitudo yang rendah sebesar 0.7 dibandingkan dengan zona reservoir yang telah terbukti oleh sumur. Maka dari itu dimungkinkan hal ini adalah air, hal ini diperkuat dengan adanya kontak gas dan air pada seismik konvensional yang digunakan sebagai indikator hidrokarbon.

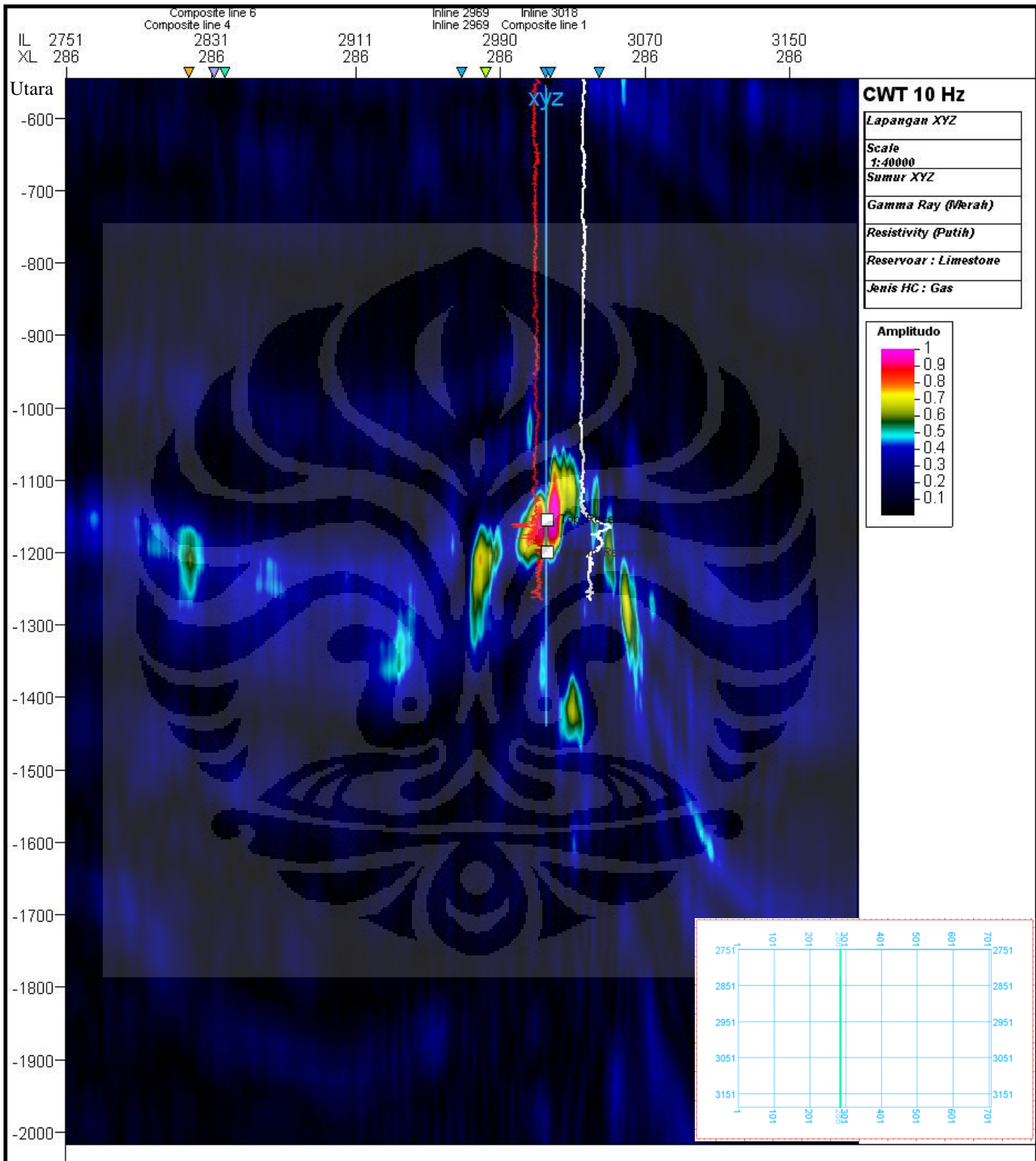
Frekuensi 40 Hz mengindikasikan zona yang memiliki penyerapan energi yang cukup tinggi terdeskripsikan oleh nilai amplitudo yang rendah. Penurunan amplitudo ini merupakan efek dari keberadaan zona gas yang memang telah terbukti dari data sumur. Pada frekuensi ini pula, terdapat kehadiran anomali dengan amplitudo sekitar 0.5 kebawah, pada zona reservoir dan beberapa di lapisan atas pada kedalaman 1000 ms. Pada zona reservoir nilai amplitudo medium berada pada batas zona gas atas dan zona gas bawah. Hal tersebut dapat menjadi perhatian

Universitas Indonesia

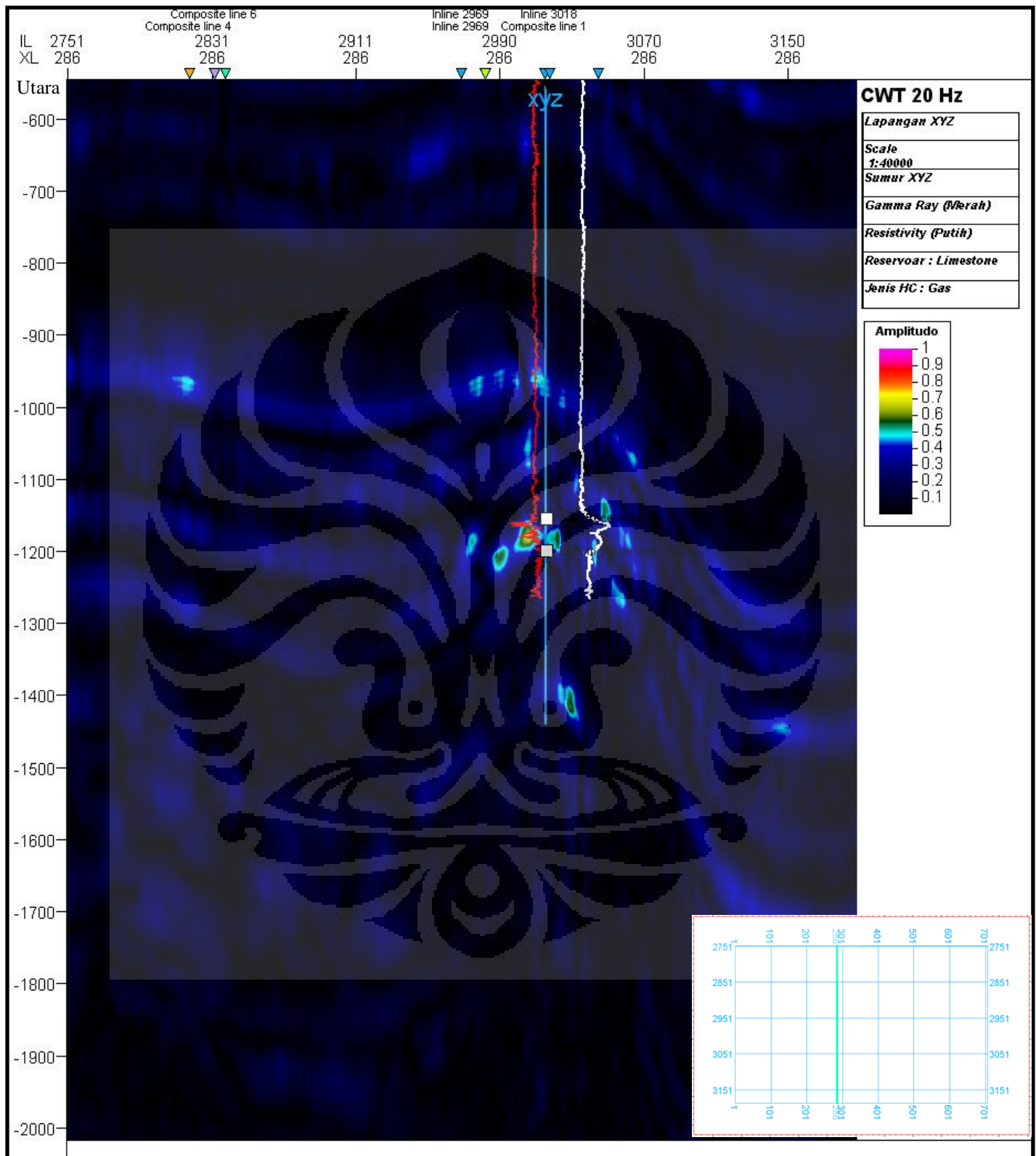
bahwa lapisan tipis yang memisahkan zona reservoir gas atas dan bawah dapat terlihat dengan baik pada frekuensi yang lebih tinggi, selain dari penyerapan energi.

Telah dibahas sebelumnya, bahwa anomali frekuensi rendah yang dapat dijadikan representatif dari keberadaan hidrokarbon yaitu pada frekuensi 10 Hz pada kasus lapangan ini. Penyebaran anomali frekuensi rendah secara lateral nampak jelas pada *timeslice* 1170ms (Gambar 4.9), dapat dilihat bahwa sumur XYZ yang telah terbukti memiliki kandungan gas dapat divisualisasikan dengan baik. Anomali frekuensi rendah 10 Hz terlokalisasi pada zona antiklin, terutama pada sumur, selain itu penyebarannya membaik ke arah Barat Laut dengan karakter respon frekuensi yang sama pada sumur, dan memiliki cakupan area yang lebih luas dibandingkan pada daerah sumur. Jika dikaji kembali daerah Barat Laut terdapat tinggian yang tidak tercukupi oleh data seismik, dengan pendekatan dekomposisi spektral ini, daerah Barat Laut tidak terdapat anomali frekuensi rendah yang berasosiasi dengan hidrokarbon seperti di sumur. Sebelah utara terdapat anomali frekuensi rendah yang amplitudonya cukup rendah berkisar 0.5 kebawah, dan daerah tersebut berada pada daerah rendahan, sehingga tidak cukup untuk dikatakan memiliki potensi dari segi anomali frekuensi rendah. Hal menarik lainnya adalah pola patahan yang nampak walaupun tidak begitu jelas terlihat pada daerah selatan dan utara klosur antiklin.

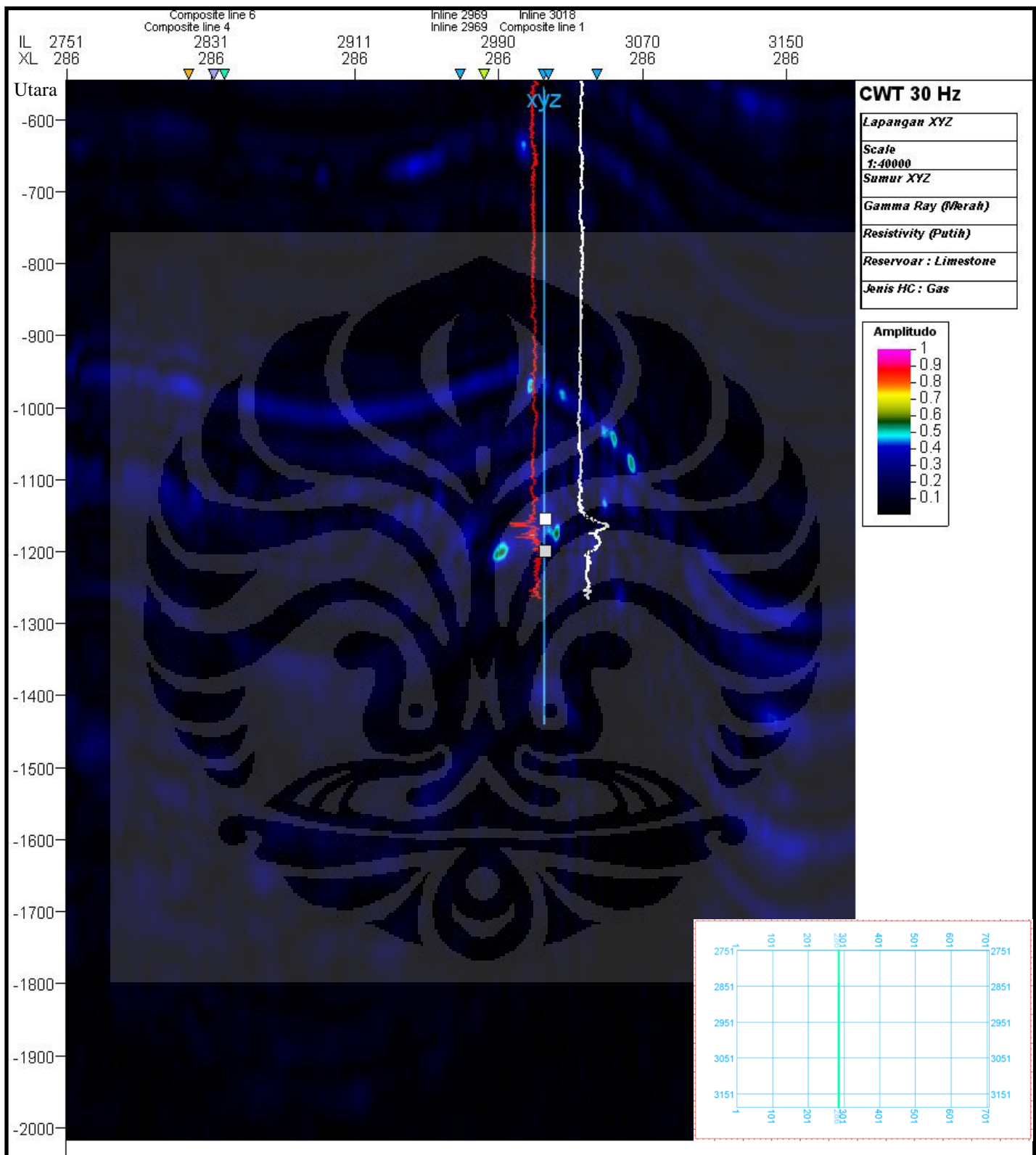
Timeslice 1170 ms untuk frekuensi tinggi 40 Hz, terlihat zona reservoir yang telah terbukti terdapat gas oleh sumur, terjadi penyerapan energi pada frekuensi tinggi (Gambar 4.10), dengan menghilangnya atau menurun secara drastis amplitudo pada frekuensi rendah 10 Hz. Secara umum, penyerapan energi pada daerah reservoir sangat ditunjang oleh keadaan reservoir yang cukup besar porositasnya sekitar 40- 50 %, selain itu juga reservoir ini cukup tebal dengan tebal 120-140 meter. Hal menarik lainnya adalah pola patahan yang semakin terlihat jelas pada frekuensi tinggi ini dibandingkan pada 10 Hz. Pada kasus lapangan XYZ ini, dekomposisi spektral mampu memberikan hasil yang baik.



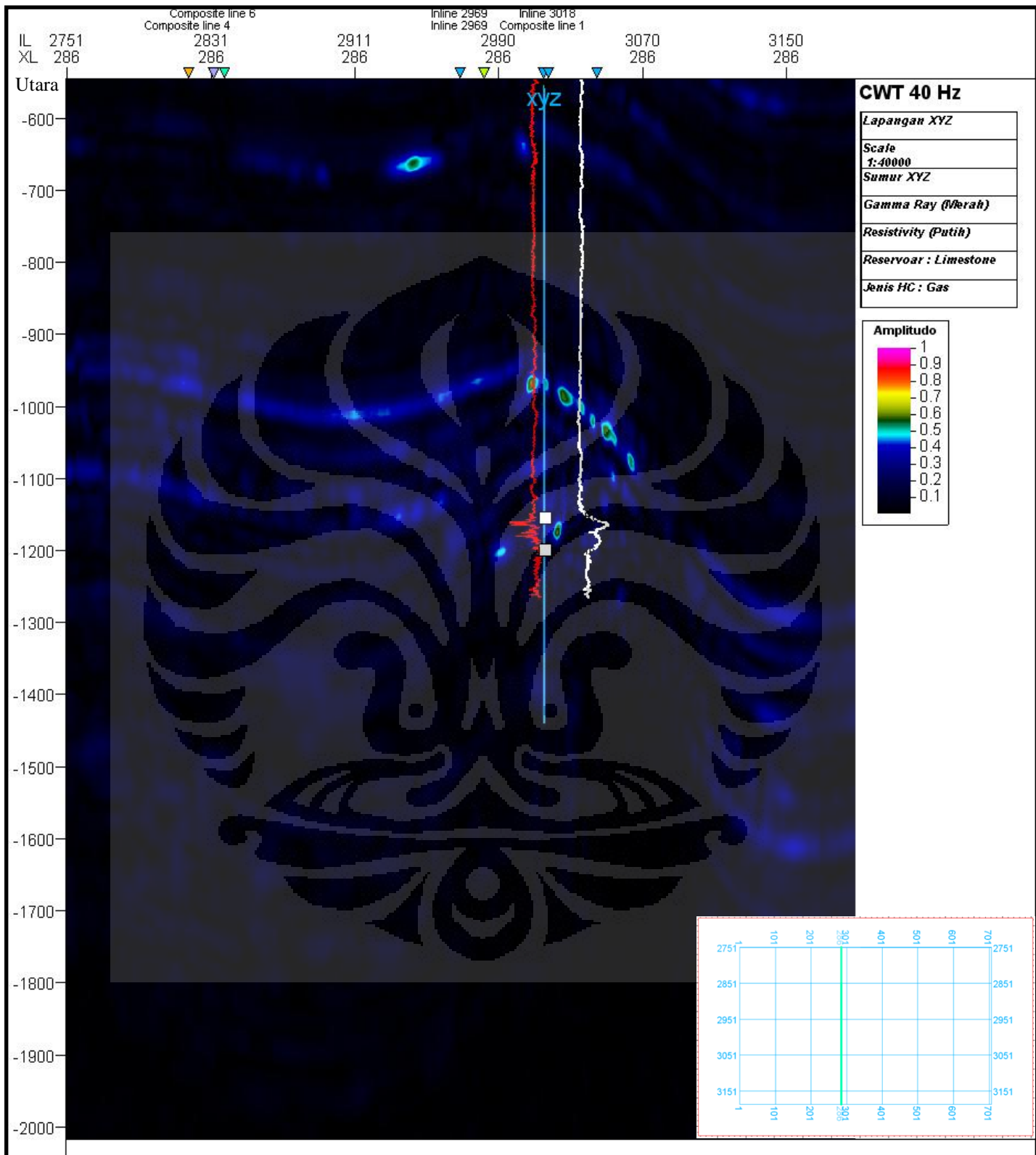
Gambar 4.5 : Dekomposisi spektral CWT 10 Hz pada Xline 286



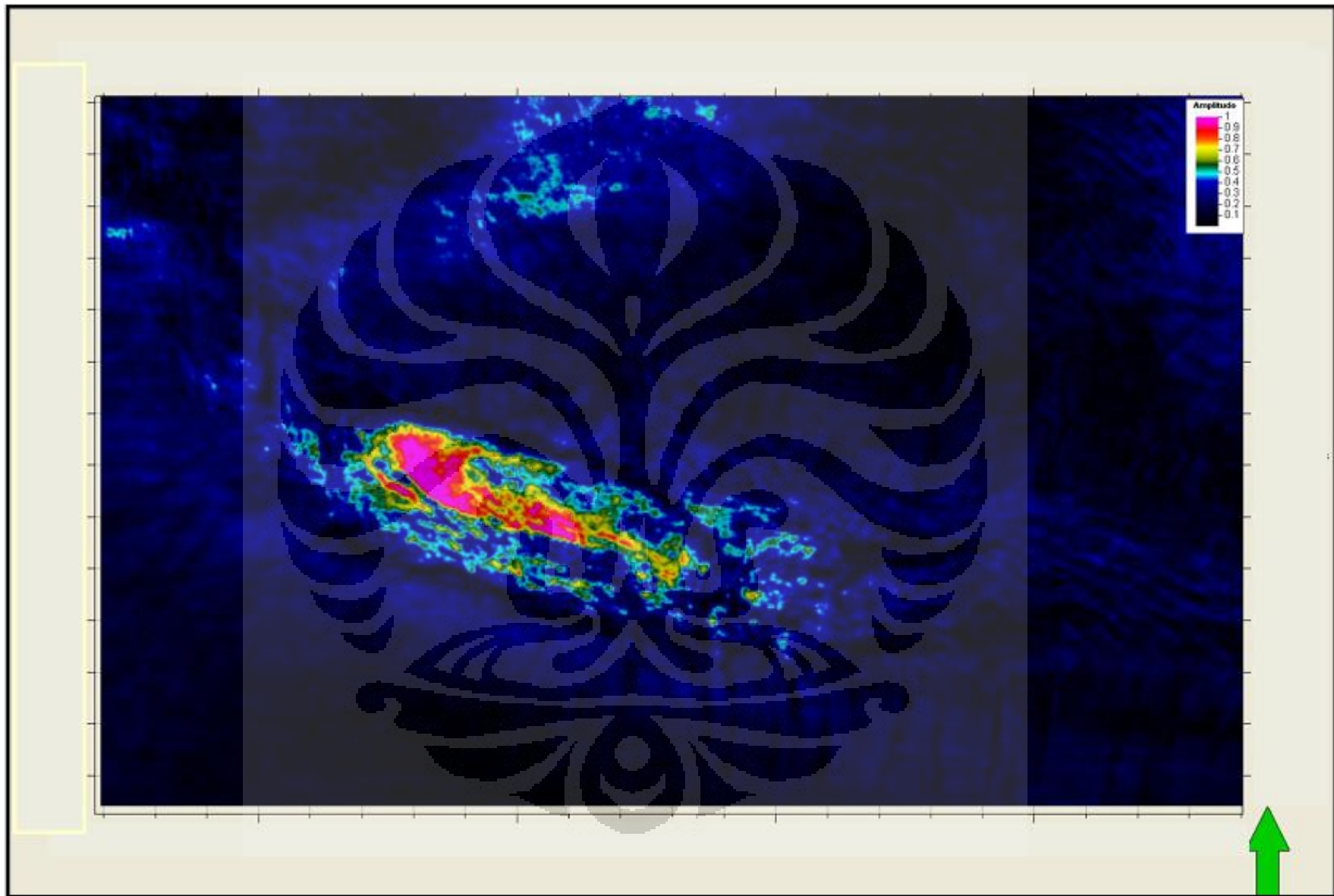
Gambar 4.6 : Dekomposisi spektral CWT 20 Hz pada Xline 286



Gambar 4.7 : Dekomposisi spektral CWT 30 Hz pada Xline 286



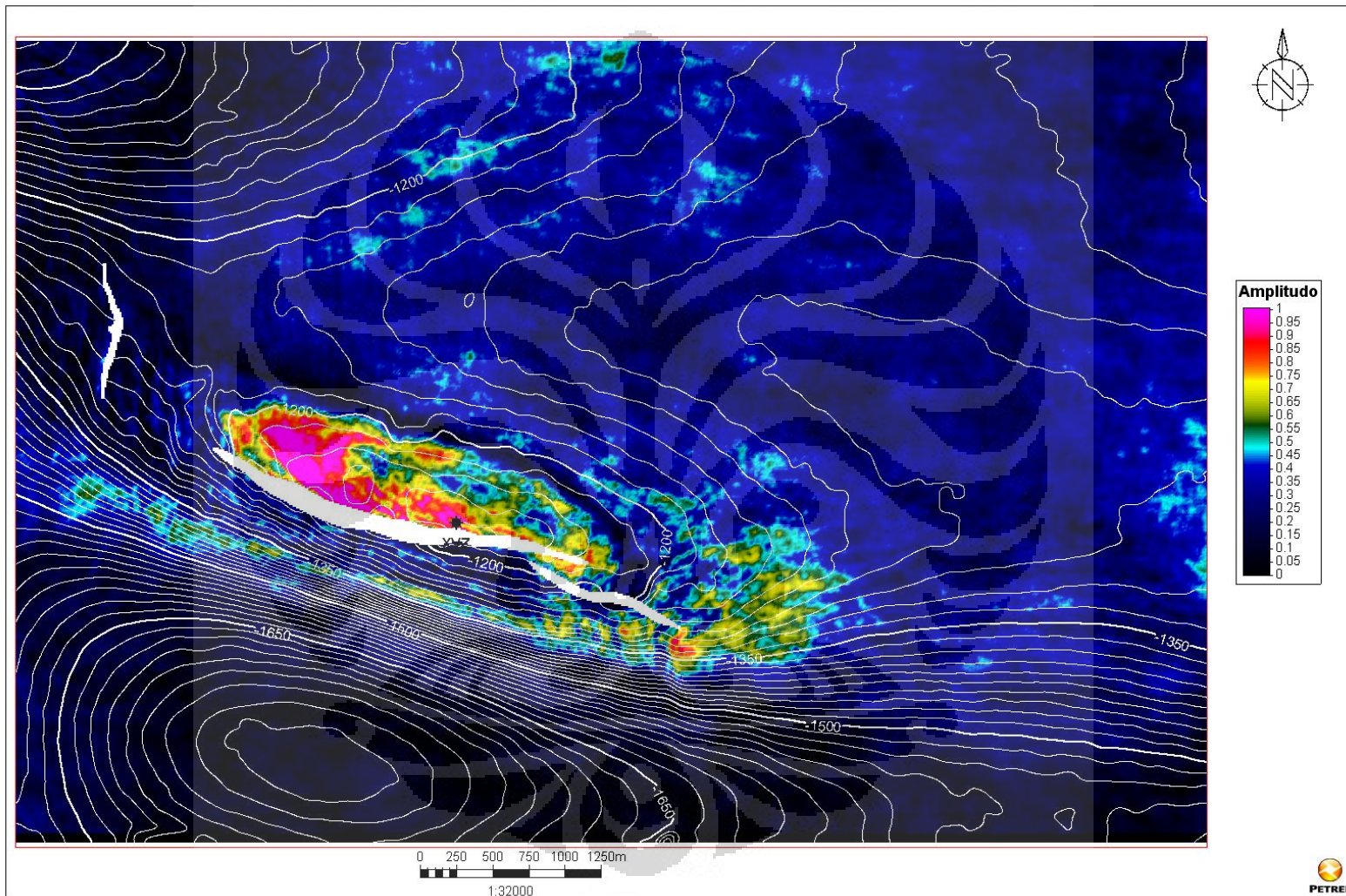
Gambar 4.8 : Dekomposisi spektral CWT 40 Hz pada Xline 286



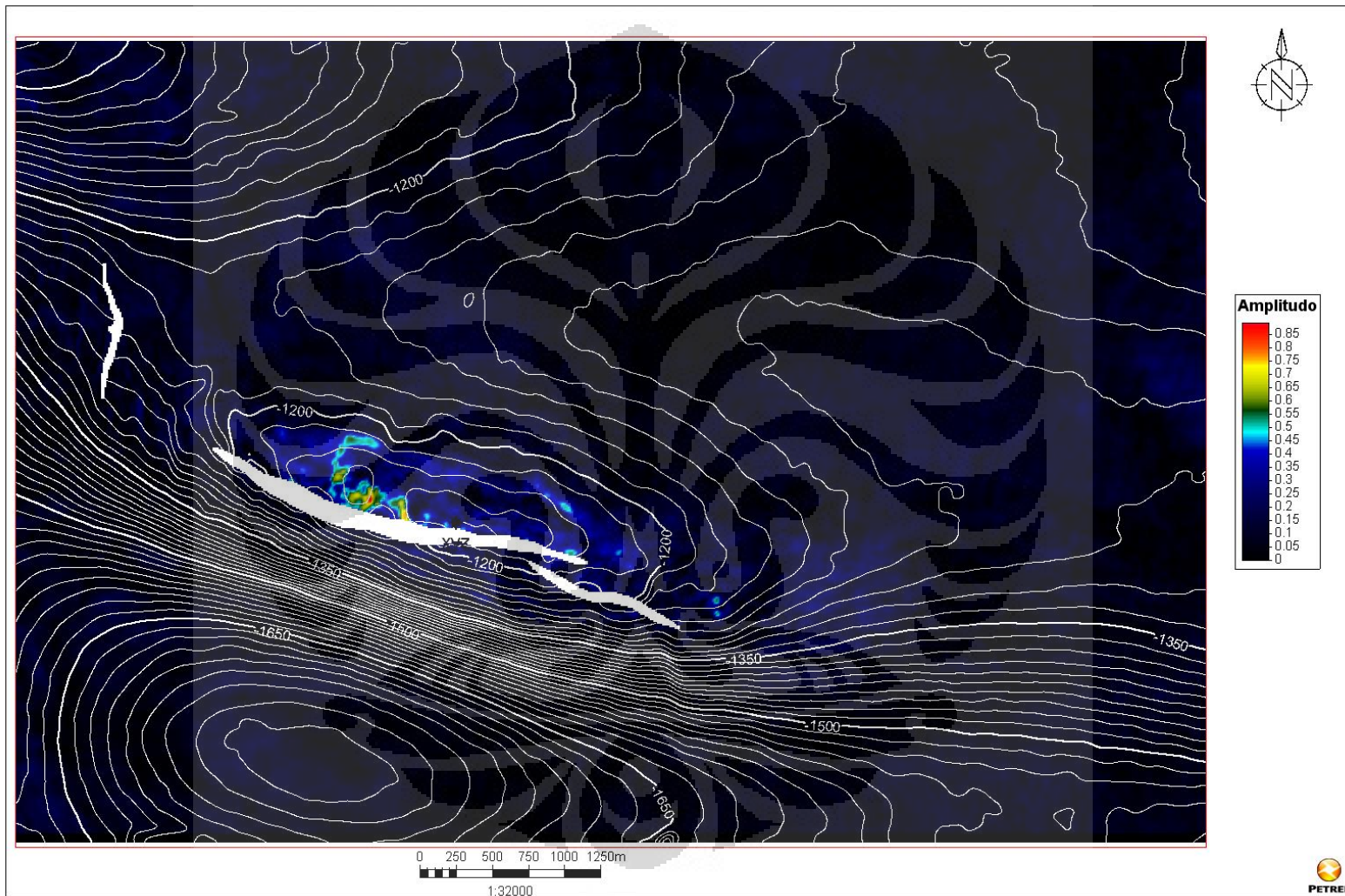
Gambar 4.9 : Dekomposisi spektral CWT 10 Hz pada *timeslice* 1170ms



Gambar 4.10 : Dekomposisi spektral CWT 40 Hz pada *timeslice* 1170ms



Gambar 4.11 : *Horizon slice* dekomposisi spektral CWT 10 Hz dengan *window* 25 ms pada reservoir



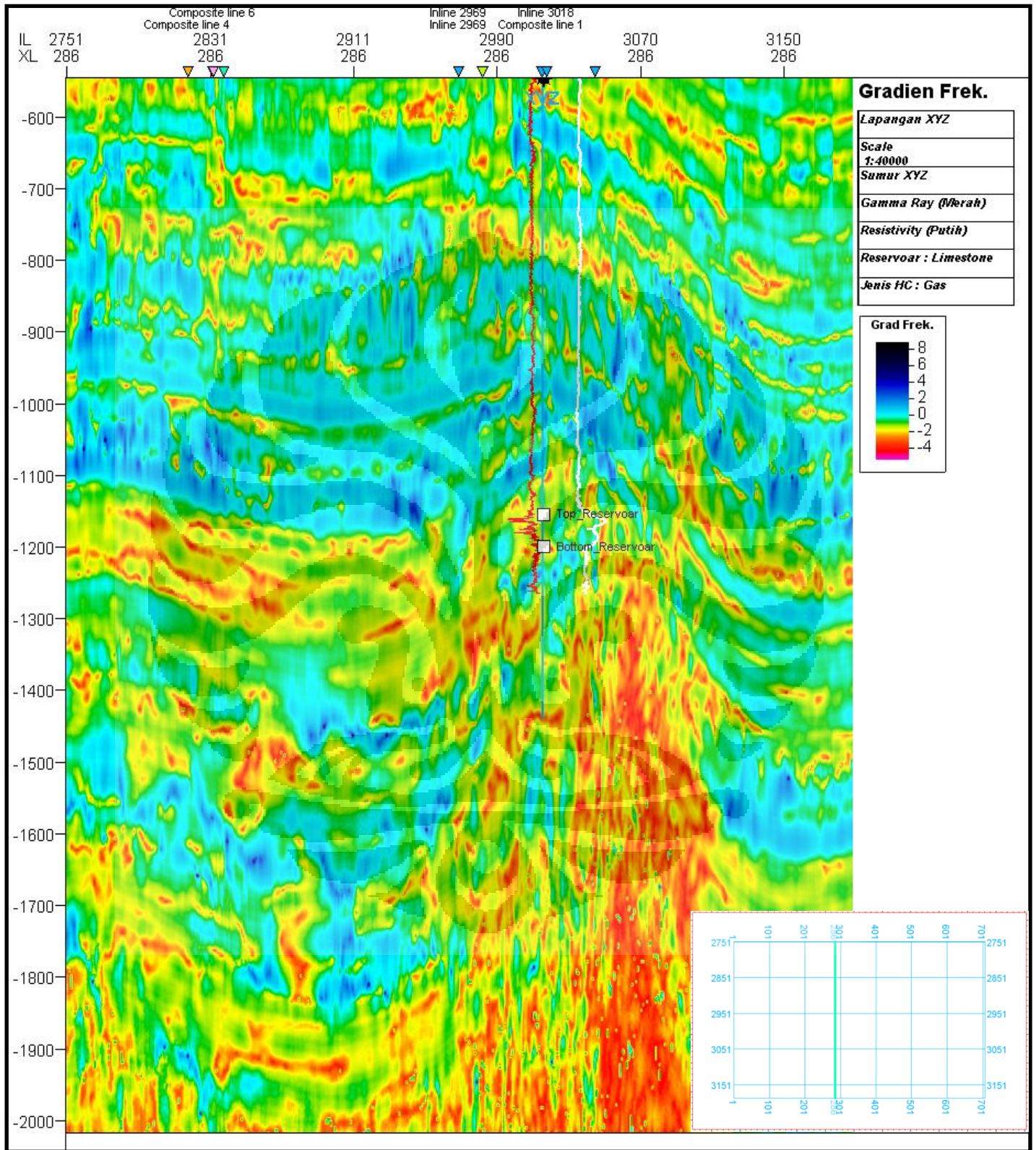
Gambar 4.12 : *Horizon slice* dekomposisi spektral CWT 40 Hz dengan window 25 ms pada reservoir

4.3 Estimasi Harga Q

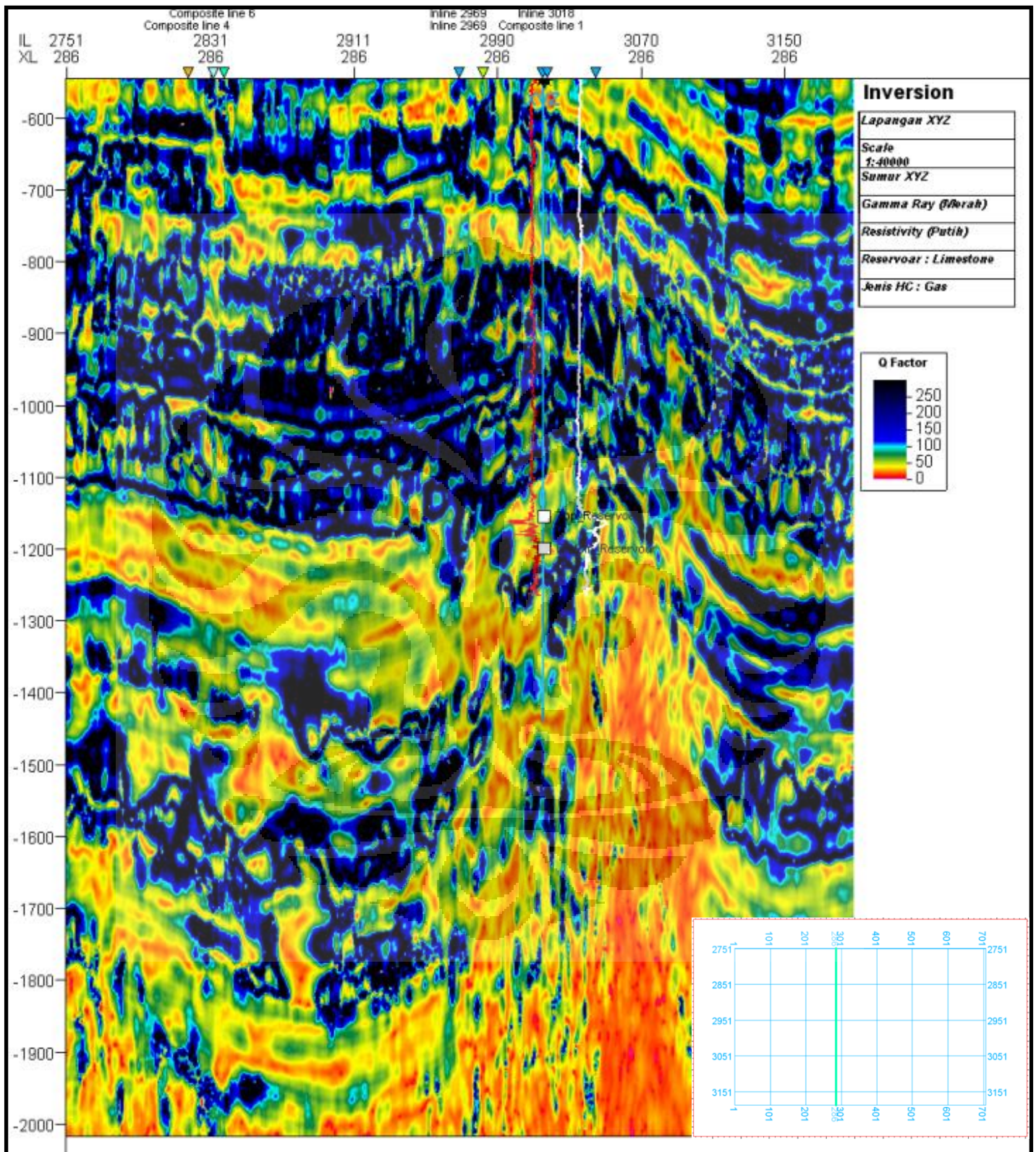
Faktor kualitas merupakan kompensasi energi gelombang yang hilang saat perambatannya. Secara umum, atenuasi gelombang seismik disebabkan oleh faktor geometri yang disebut atenuasi ekstrinsik dan faktor kondisi lapisan itu sendiri yang disebut atenuasi intrinsik. Reservoir hidrokarbon diindikasikan oleh adanya atenuasi intrinsik yang besar atau nilai Q kecil. Dekomposisi spektral menggunakan prinsip atenuasi energi pada frekuensi tinggi untuk menginvestigasi keberadaan reservoir hidrokarbon. Akan tetapi dekomposisi spektral hanya menggunakan analisis secara kualitatif dengan membandingkan amplitudo frekuensi rendah dan frekuensi tinggi sebagai representasi penyerapan energi.

Estimasi harga Q pada studi ini menggunakan analisis detail dari dekomposisi spektral yang telah digunakan untuk menghasilkan nilai faktor kualitas pada reservoir *limestone* terisi gas pada lapangan ini. Harga Q diperoleh dengan melihat penurunan secara eksponensial amplitudo pada frekuensi rendah 10 Hz dan frekuensi tinggi 40 Hz pada zona reservoir. Penurunan amplitudo secara eksponensial ini merupakan harga gradien frekuensi. Dengan mengetahui gradien frekuensi ini dapat dilakukan analisis yang lebih terperinci mengenai harga Q pada zona reservoir.

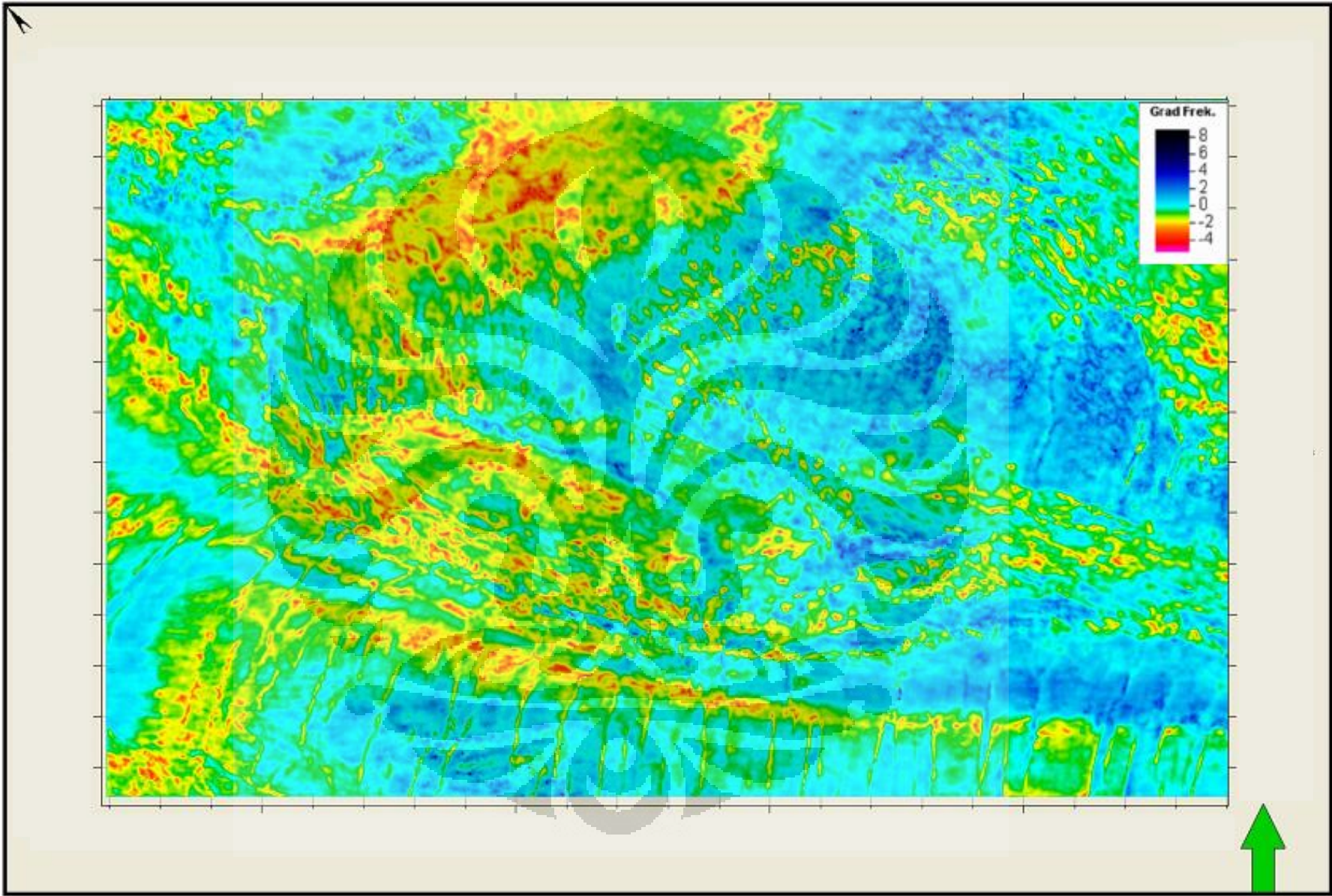
Gradien frekuensi pada studi ini pada zona reservoir didapatkan hasil gradien frekuensi dengan nilai yang rendah sekitar -1 sampai -4 (Gambar 4.13). Gradien frekuensi yang rendah menandakan penurunan amplitudo yang cukup signifikan. Dengan kata lain, semakin rendah nilai gradien frekuensi menandakan nilai rendah pada faktor kualitas dimana penyerapan energi pada zona reservoir tersebut (Gambar 4.14). Pada kedalaman 1100 ms atau diatas zona reservoir menandakan nilai gradien frekuensi yang tinggi berkisar 0 hingga 2 yang menandakan bahwa zona tersebut merupakan zona penutup atau seal yang memiliki nilai Q yang lebih besar dibandingkan dengan zona reservoir. Penyebaran nilai gradien rendah dan faktor Q terlihat tidak hanya sebatas pada reservoir, terlihat pada zona yang memiliki defleksi *gamma ray* walau hanya sedikit dibandingkan dengan di zona reservoir.



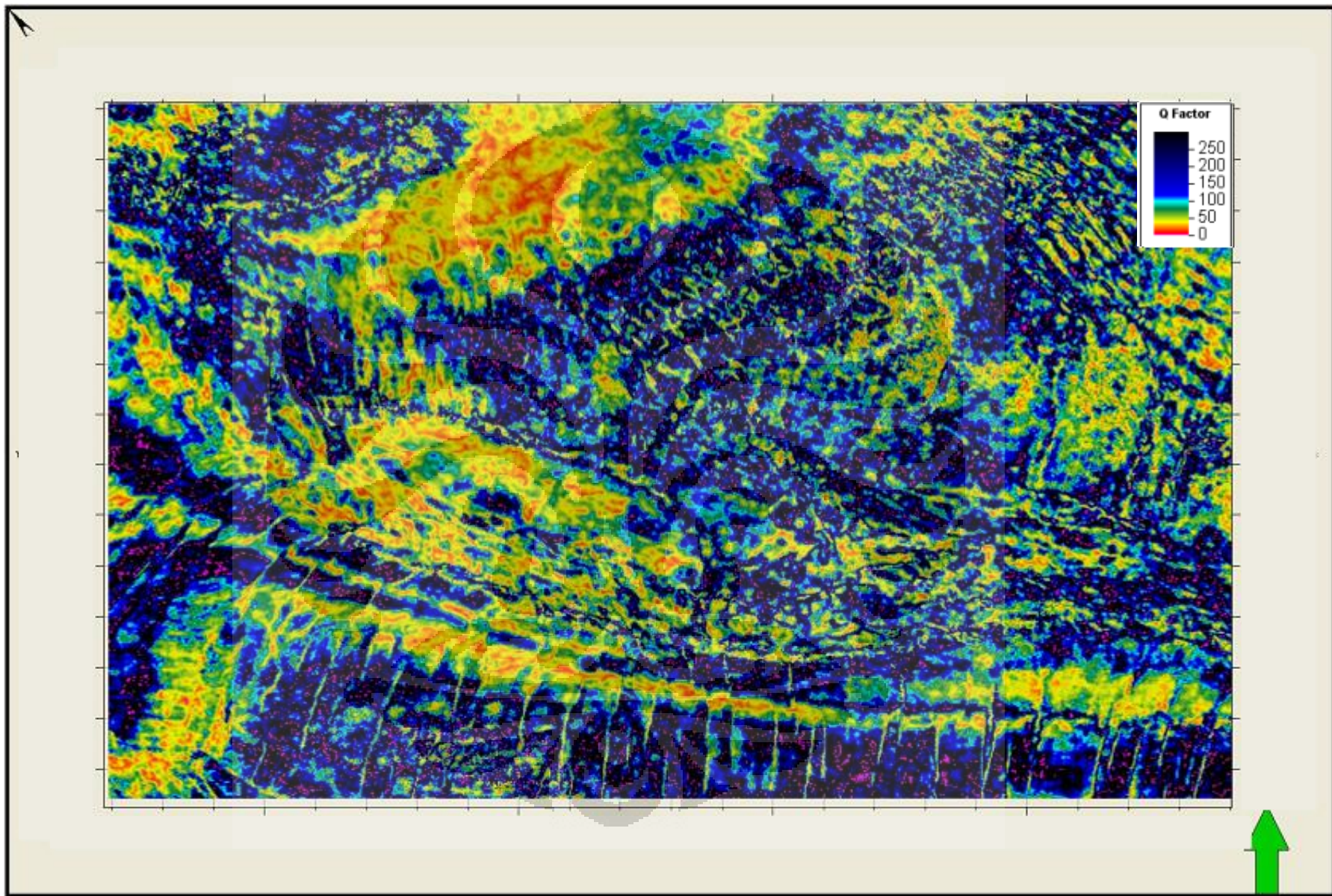
Gambar 4.13 : Gradien frekuensi hasil rasio spektral pada Xline 286



Gambar 4.14 : Faktor Q pada Xline 286



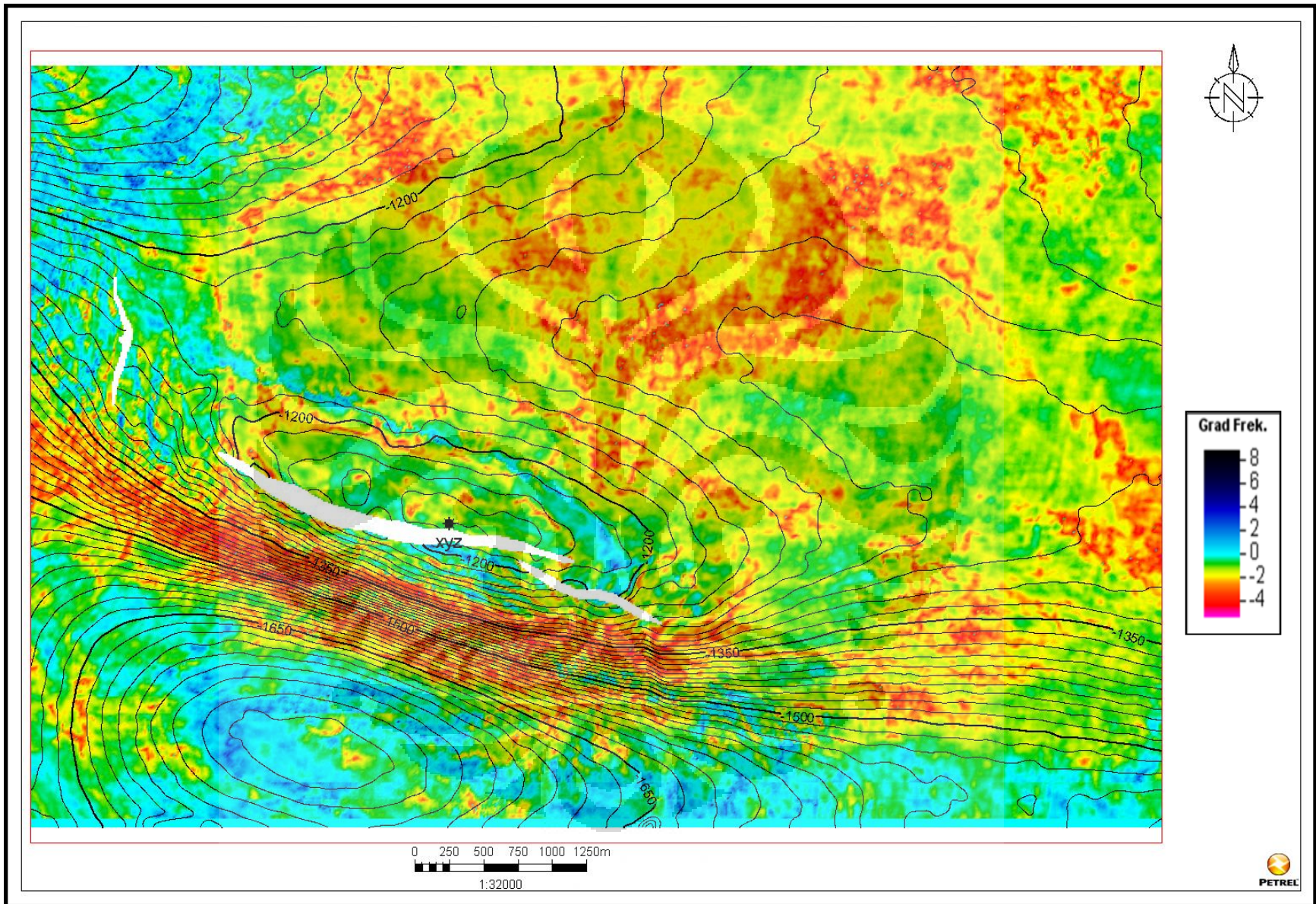
Gambar 4.15 : Gradien frekuensi pada *timeslice* 1170 ms



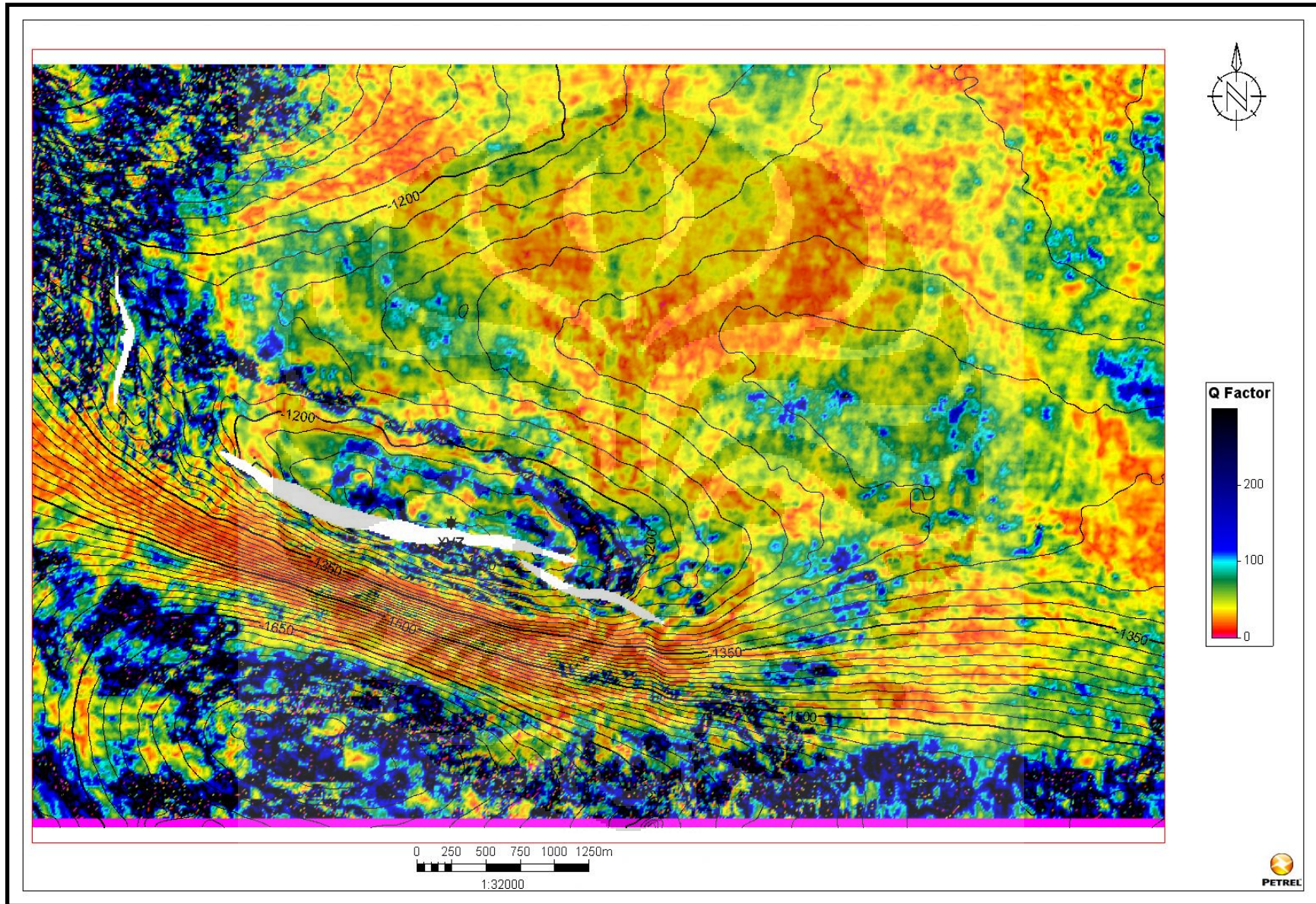
Gambar 4.16 : Faktor Q pada *timeslice* 1170 ms

Penyebaran gradien frekuensi dan faktor Q secara lateral dilakukan pada *timeslice* 1170 ms (Gambar 4.15 dan 4.16), terlihat di struktur antiklin lapangan XYZ terpenuhi oleh gradien frekuensi yang rendah, direpresentasikan oleh warna terang kuning sampai merah, dengan nilai yang rendah ini dapat diartikan bahwa di sekitar antiklin tersebut menyebabkan energi gelombang seismik teratenuasi pada frekuensi tinggi. Distribusi gradien frekuensi dan faktor Q yang rendah tersebut memanjang sepanjang antiklin dan juga disebelah Utara, Selatan, dan Barat Laut antiklin XYZ. Akan tetapi anomali Q rendah disebelah utara tidak berada struktur atas, jika melihat kembali dekomposisi spektral, daerah sebelah utara ini memiliki anomali frekuensi rendah dengan amplitudo yang rendah namun memiliki atenuasi yang hampir mirip dengan antiklin XYZ. Jika dibandingkan dengan inversi (Gambar 4.20) daerah sebelah utara juga memiliki impedansi yang rendah. Dengan integrasi ini, maka dapat dimungkinkan bahwa daerah tersebut merupakan *limestone* dengan umur yang lebih muda berada diatas reservoir. Porositas yang besar menyebabkan atenuasi yang besar pada daerah sebelah utara, sehingga gradien frekuensi dan faktor Q memiliki karakter respon yang sama. Pada daerah sebelah Barat Laut, terlihat sebagian antiklin yang memiliki atenuasi gelombang seismik yang cukup besar ditandai dengan adanya warna terang seperti pada daerah reservoir, daerah Barat Laut ini dikelilingi oleh lapisan yang memiliki atenuasi yang kecil dengan indikator warna biru. Jika melihat dekomposisi spektral anomali frekuensi rendah tidak ditemukan adanya amplitudo yang besar. Akan tetapi dari hasil inversi terlihat daerah Barat Laut merupakan daerah dengan impedansi akustik yang sedikit lebih besar dibandingkan reservoir, atau memiliki porositas yang sedikit lebih kecil dibandingkan reservoir yang memiliki porositas 40-47 %. Dengan kata lain, daerah Barat Laut merupakan reservoir yang baik akan tetapi belum terisi oleh fluida.

Hal menarik lainnya yaitu adalah pada sebelah selatan sumur XYZ, terlihat patahan-patahan kecil yang berarah Utara Selatan memiliki atenuasi yang cukup besar pada frekuensi tinggi sehingga nampak seperti garis dengan indikasi warna terang atau gradien frekuensi dan faktor Q yang rendah.



Gambar 4.17: *Horizon slice* gradien frekuensi dengan *window* 25 ms pada reservoir



Gambar 4.18 : *Horizon slice* faktor Q dengan *window* 25 ms pada

Interpretasi struktural menghasilkan antiklin yang memiliki arah Barat Laut – Tenggara, dimana sumur XYZ telah terpenetrasi dan mendapatkan akumulasi gas pada reservoir, dan memiliki nilai gradien frekuensi yang rendah pada sekitar sumur (Gambar 4.17), begitupun pada faktor Q memiliki kecenderungan yang mirip dengan gradien frekuensi (Gambar 4.18). Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam penjalarannya gelombang seismik memiliki gangguan berupa atenuasi pada sekitar reservoir. Struktur antiklin pada reservoir tersebut terlihat seperti dikelilingi oleh medium yang memiliki atenuasi yang rendah. Di sebelah selatan antiklin sumur XYZ terkonsentrasi atenuasi yang cukup besar ditandai dengan gradien frekuensi dan faktor Q yang rendah, seperti diketahui bahwa daerah ini merupakan daerah patahan yang berarah Barat Laut – Tenggara. Hal ini menandakan bahwa faktor atenuasi akan memberikan efek yang cukup besar jika terdapat fault hal ini dapat terlihat pada timeslice 1170 ms, dimana patahan memberikan efek atenuasi yang besar sehingga akan timbul gradien frekuensi dan Q faktor yang rendah.

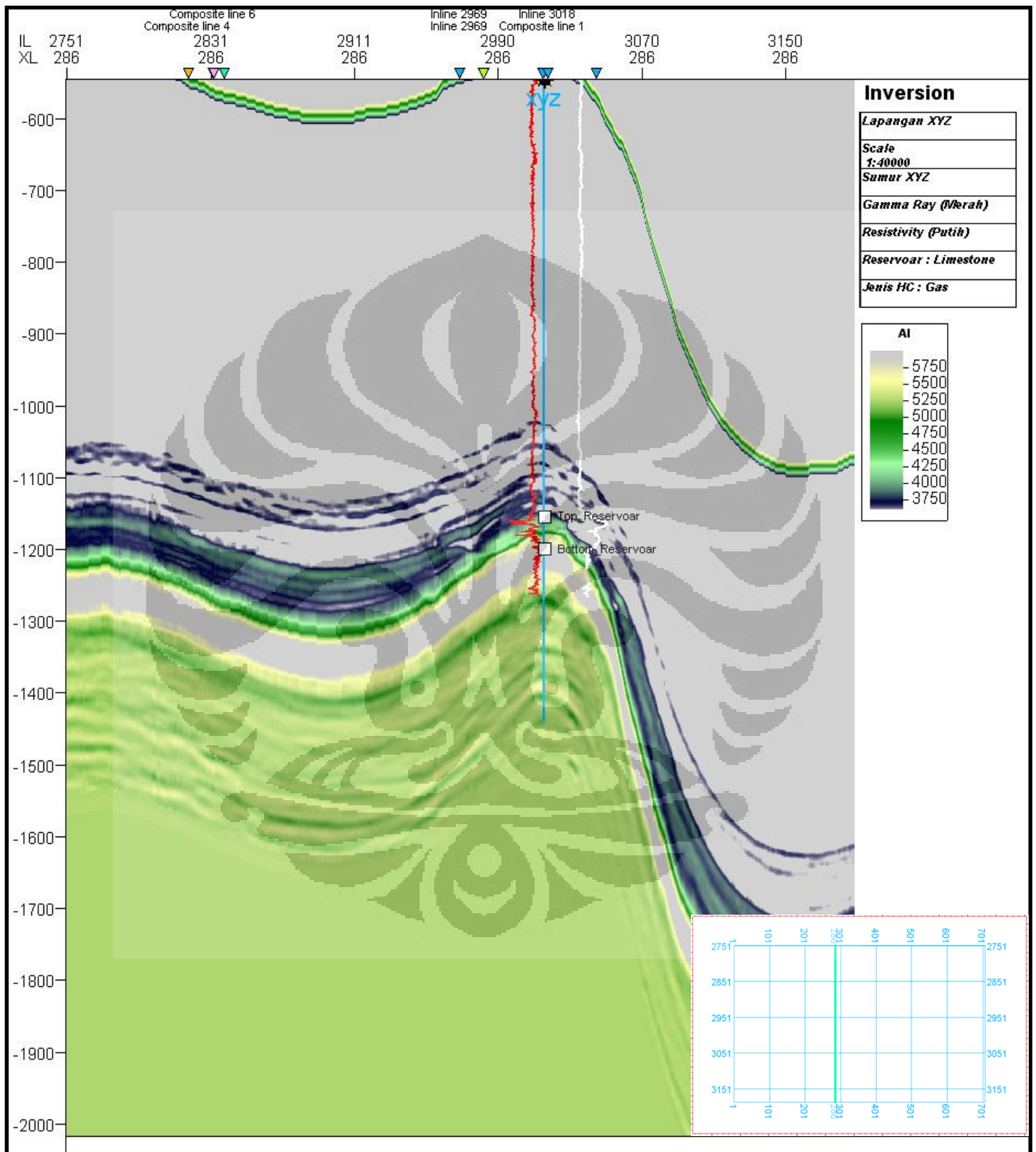
Pada sebelah utara dan barat terlihat gradien frekuensi dan faktor Q yang rendah ditandai dengan warna kuning dan merah melampar dengan cukup luas, hal ini serupa dengan respon gradien frekuensi dan faktor Q yang diberikan di daerah dekat sumur XYZ. Hal tersebut menandakan bahwa gelombang seismik mengalami pelemahan pada daerah tersebut, kemungkinan yang menyebabkan hal itu terjadi salah satunya faktor porositas yang mempengaruhi dari pelemahan pada daerah tersebut. Hal ini didukung oleh hasil inversi yang menunjukkan hasil yang lebih poros pada daerah tersebut. Akan tetapi daerah tersebut berada pada rendahan dan hasil dekomposisi spektral anomali frekuensi rendah tidak terlihat anomali pada daerah tersebut, sehingga dimungkinkan atenuasi besar pada daerah tersebut bukan karena keberadaan hidrokarbon melainkan karena litologi yang poros.

4.4 Inversi seismik

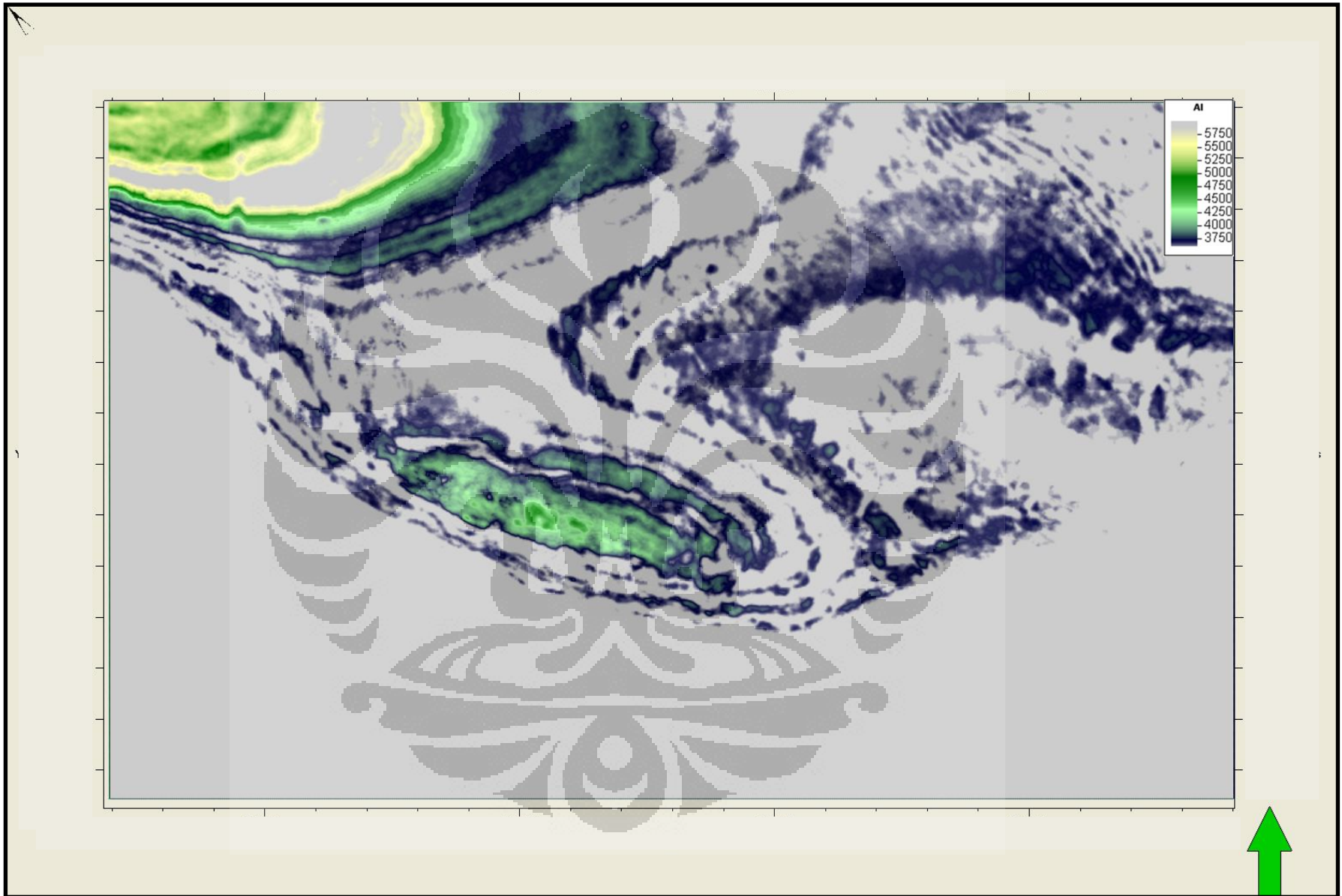
Inversi merupakan proses pembalikan yang dilakukan untuk mengubah data seismik menjadi parameter fisika lain yang sering disebut dengan impedansi akustik. Inversi seismik yang digunakan dalam studi ini adalah inversi seismik dengan menggunakan metode *model based*. Inversi ini dilakukan setelah mendapatkan model awal. Model ini kemudian dikonvolusikan dengan wavelet hasil ekstraksi dari proses pengikatan seismik dengan sumur. Proses konvolusi ini menghasilkan seismogram sintetik yang selanjutnya dibandingkan dengan trace seismik sebenarnya. Proses ini dilakukan secara iteratif sehingga diperoleh hasil dengan kesalahan yang terkecil. Nilai impedansi akustik dengan kesalahan terkecil inilah yang merupakan nilai impedansi akustik hasil inversi. Unit reservoir pada studi ini memiliki porositas sekitar 40 – 47 % maka dengan metode inversi ini dapat mencitrakan reservoir dengan baik.

Studi ini memberikan hasil berupa akustik impedansi yang berkorelasi dengan porositas. Pada daerah reservoir terlihat hasil inversi mampu memberikan respon impedansi akustik yang relatif lebih rendah dibanding sekitarnya. Dengan ditutupi oleh batuan penutup yang memiliki impedansi yang besar. Inversi pada studi ini mampu memberikan pola penyebaran secara lateral dengan cukup baik pada zona reservoir. Reservoir pada studi ini terdapat dua bagian yaitu reservoir atas dan bawah. Berdasarkan data dari sumur didapati bahwa kedua reservoir unit ini memiliki porositas yang sedikit berbeda, dimana porositas reservoir atas sebesar 45 – 47,5 % dengan impedansi akustik sebesar 4000-4250 (m/s)(gr/cc), sedangkan reservoir bawah sebesar 40 – 42 % dengan nilai impedansi akustik sebesar 4500-5500 (m/s)(gr/cc) (Gambar 4.19). Hal ini juga dapat terdeskripsikan oleh inversi seismik dengan baik, dimana reservoir terbedakan nilai impedansi seismik nya. Secara umum, impedansi akustik akan semakin membesar terhadap kedalaman, karena semakin kedalam batuan akan semakin padat atau memiliki densitas yang besar. Pada studi ini, lapisan dibawah reservoir memiliki impedansi yang relatif lebih besar dibandingkan dengan reservoir. Dengan hasil inversi ini dapat digunakan mengidentifikasi disekeliling sumur secara lateral yang memiliki nilai impedansi akustik yang relatif sama pada reservoir unit yang sama.

Universitas Indonesia



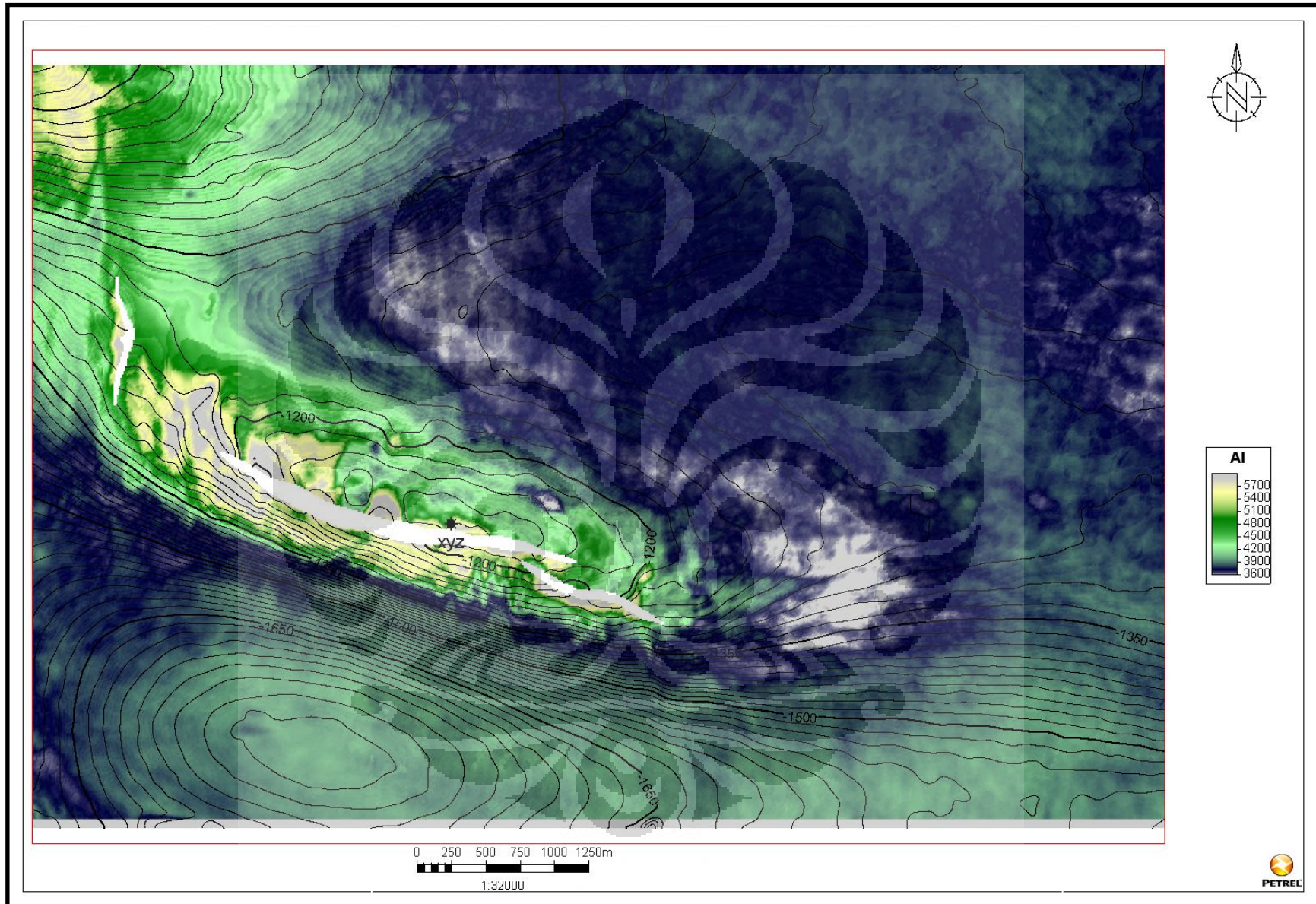
Gambar 4.19 : Hasil inversi seismik pada Xline 286



Gambar 4.20 : Hasil inversi seismik pada *timeslice* 1170 ms

Penyebaran impedansi akustik zona reservoir sebesar 4000-4250 (m/s)(gr/cc) secara lateral dapat dilihat pada *timeslice* 1170 ms (Gambar 4.20). Pada sayatan ini zona poros reservoir telah divisualisasikan dengan warna hijau muda sepanjang klosur antiklin dan dikelilingi oleh zona yang porositasnya lebih kecil dengan impedansi akustik sebesar 5750 (m/s)(gr/cc) ke atas. Sebelah Barat Laut terlihat zona antiklin yang tidak tercukupi data seismik memiliki karakter yang mirip dengan klosur antiklin XYZ, hanya klosur Barat Laut ini memiliki porositas yang lebih kecil dibandingkan dengan porositas klosur XYZ, ditunjukkan oleh impedansi akustik yang lebih besar 5000-5500 (m/s)(gr/cc). Analisis dekomposisi spektral sebelumnya menunjukkan bahwa daerah Barat Laut tidak terdapat anomali frekuensi rendah, akan tetapi daerah tersebut merupakan daerah yang cukup baik dari segi impedansi akustik yang memiliki karakter mirip dengan zona reservoir bawah XYZ. Hal tersebut dapat dimungkinkan terjadi jika kolom gas pada antiklin XYZ belum mencapai *spill point*. Sehingga gas masih mengisi pada struktur antiklin XYZ yang masih dibawahnya.

Integrasi interpretasi struktural dan hasil inversi seismik mampu memberikan deskripsi mengenai impedansi akustik pada daerah reservoir (Gambar 4.21). Pada reservoir memiliki ditandai dengan warna hijau muda hingga kuning dengan nilai impedansi 4000-4250 (m/s)(gr/cc) dan hal ini memanjang ke sebelah Barat Laut memiliki karakter yang mirip dengan sekitar reservoir. Pada daerah utara memiliki zona impedansi akustik yang lebih besar dibandingkan dengan reservoir ditandai oleh warna abu-abu dan diikuti oleh medium yang lebih poros warna biru disebelah utara nya. Hasil inversi, gradien frekuensi, dan faktor Q dapat menceritakan keadaan medium reservoir dalam hal ini *limestone globigerina* dan kelakuan gelombang seismik yang melewatinya melalui atenuasi dalam medium tersebut.

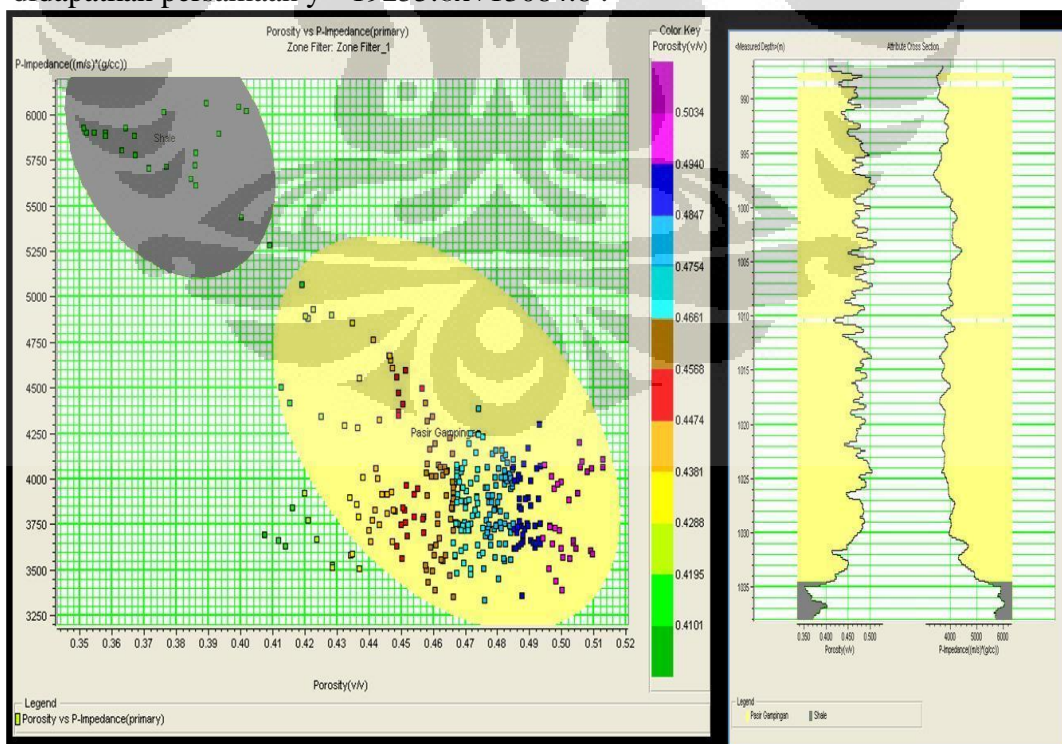


Gambar 4.21 : *Horizon slice* inversi seismik dengan *window* 25 ms pada reservoir

4.5 Analisis kuantitatif

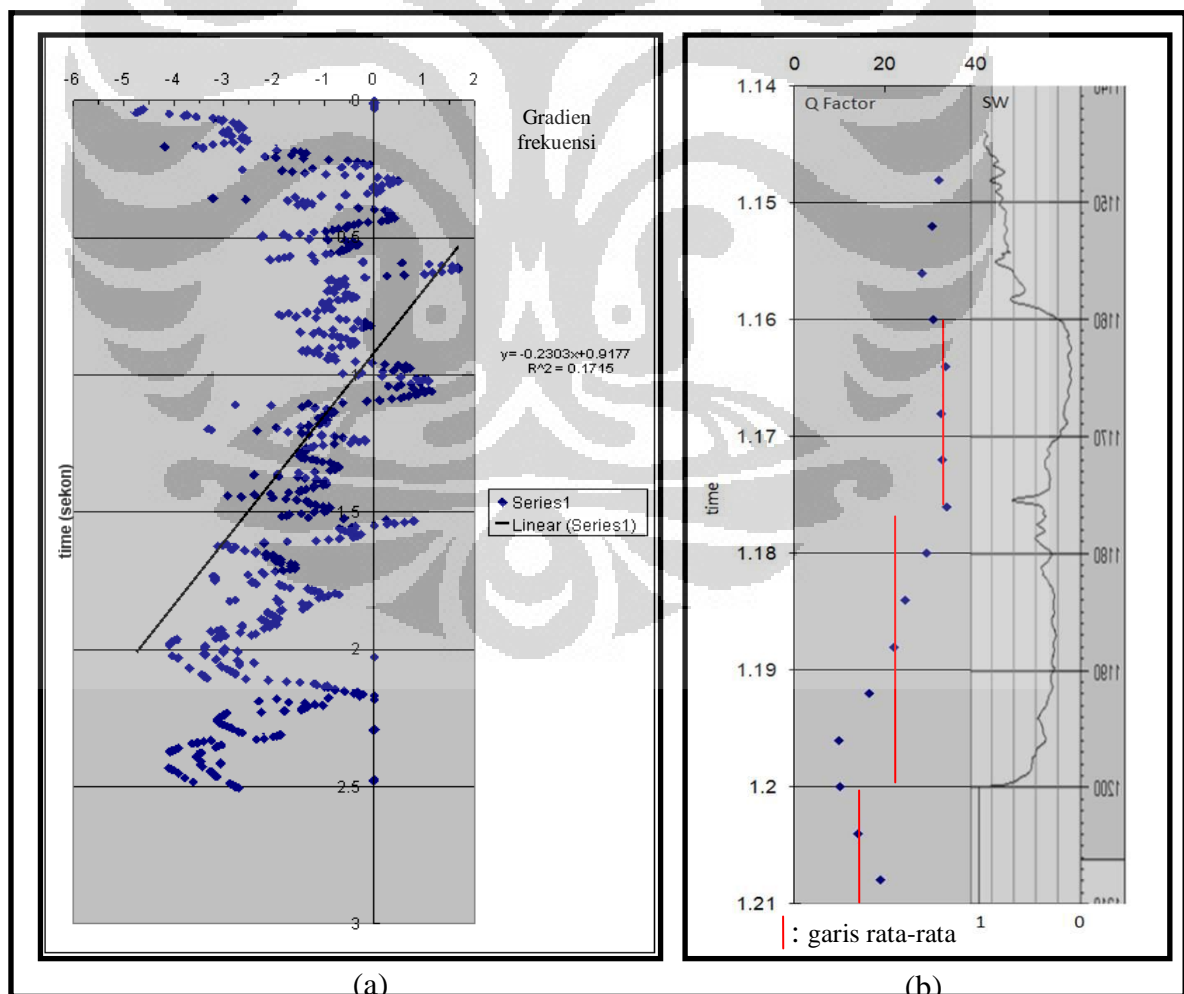
Metode atribut sesimik pada studi ini, digunakan dengan menggunakan domain amplitudo dan frekuensi. Dimana keduanya telah mampu memberikan karakter dengan sesuai sifat fisik dari reservoir tersebut. Metode inversi dapat memberikan akustik impedansi yang berkaitan dengan porositas. Metode dekomposisi spektral mampu memberikan indikator keberadaan hidrokarbon melalui anomali frekuensi rendah dan atenuasi pada frekuensi tinggi. Ada nya atenuasi pada frekuensi tinggi dekomposisi spektral pada studi ini mampu mendeskripsikan nilai pelemahan yang terjadi pada reservoir, dengan menghadirkan estimasi penurunan eksponensial.

Seperti diketahui sebelumnya, reservoir unit memiliki porositas reservoir atas sebesar 45 – 47,5 %, sedangkan reservoir bawah sebesar 40 – 42 %, hasil inversi didapatkan impedansi akustik sebesar 4100 (m/s)(gr/cc) pada reservoir atas dan 5500 (m/s)(gr/cc) pada reservoir bawah. Korelasi antara impedansi akustik dan porositas dapat terlihat pada Gambar 4.22 dengan mengambil korelasi secara linier didapatkan persamaan $y = -19255.6x + 13084.8$.



Gambar 4.22 : Krosplot impedansi akustik dengan porositas

Hasil dekomposisi spektral menunjukkan keberadaan anomali frekuensi rendah pada frekuensi 10 Hz dengan diikuti peluruhan pada frekuensi di atasnya. Hasil perhitungan nilai pelemahan eksponensial dengan metode spektral rasio menunjukkan bahwa secara umum terjadi pelemahan yang semakin besar seiring dengan bertambahnya kedalaman. Zona reservoir memiliki gradien yang relatif lebih rendah, dengan nilai faktor kualitas atau Q sebesar 20 – 30, pengaruh keberadaan air akan membuat nilai faktor Q akan semakin melemah hingga sampai dibawah 10 (Gambar 4.23). Karena keberadaan air akan menambah pelemahan energi gelombang yang melewati medium tersebut. Terlihat Q pada daerah reservoir dapat terpisahkan dengan perbedaan nilai Q pada batas reservoir atas dan bawah bernilai 30-35, kemudian pada reservoir bawah kembali 30 dan mengecil sampai pada daerah air.

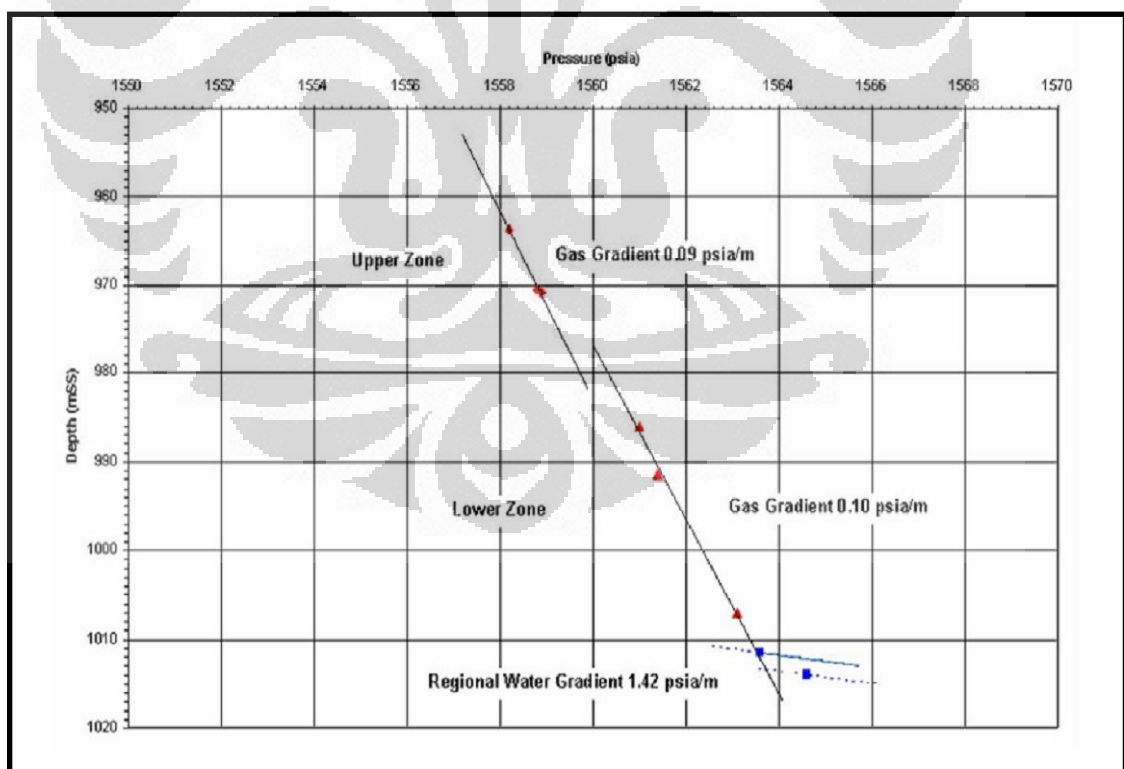


Gambar 4.23 : (a) Gradien frekuensi yang melewati sumur XYZ (b) Faktor Q dan Sw pada reservoir

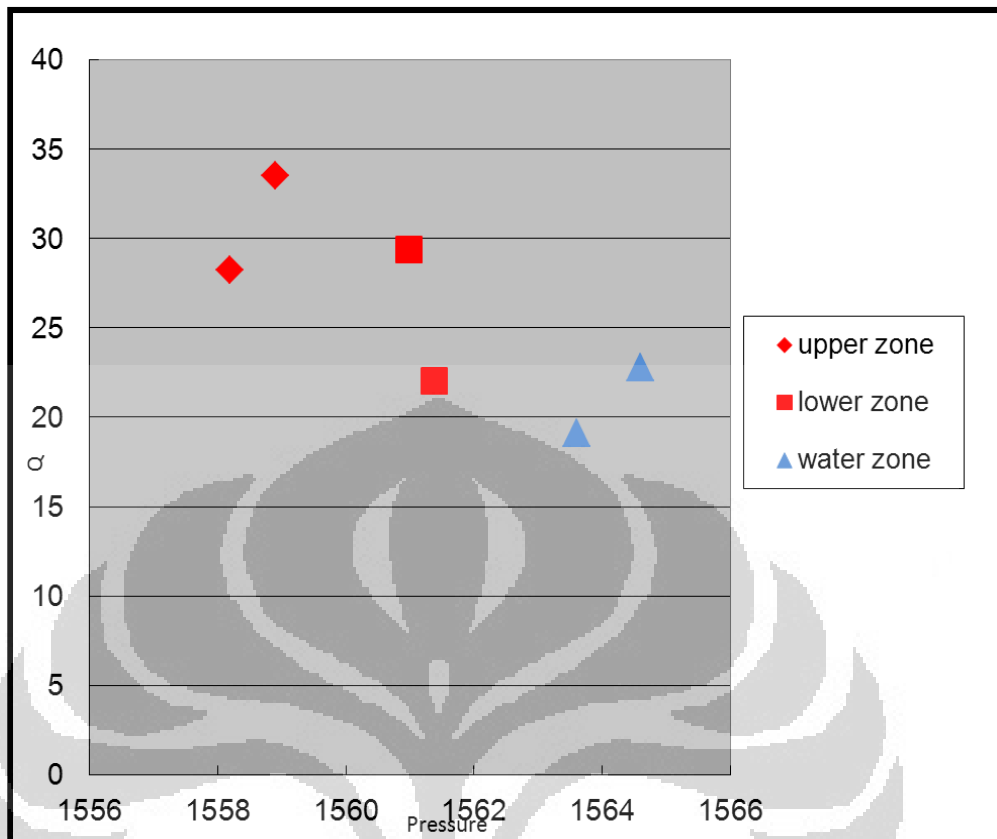
Universitas Indonesia

Berdasarkan data tekanan dari informasi sumur disebutkan bahwa zona reservoir atas dan zona reservoir bawah memiliki pola tekanan yang berbeda, dimana pada zona reservoir atas memiliki gradien sebesar 0.09 psia/m dan zona reservoir bawah memiliki gradien sebesar 0.10 psia/m. reservoir bawah memiliki tekanan yang lebih besar sedikit dibandingkan dengan reservoir atas (Gambar 4.24). Dengan adanya tambahan data tekanan ini akan semakin menguatkan dalam mengkarakterisasi reservoir *limestone* ini.

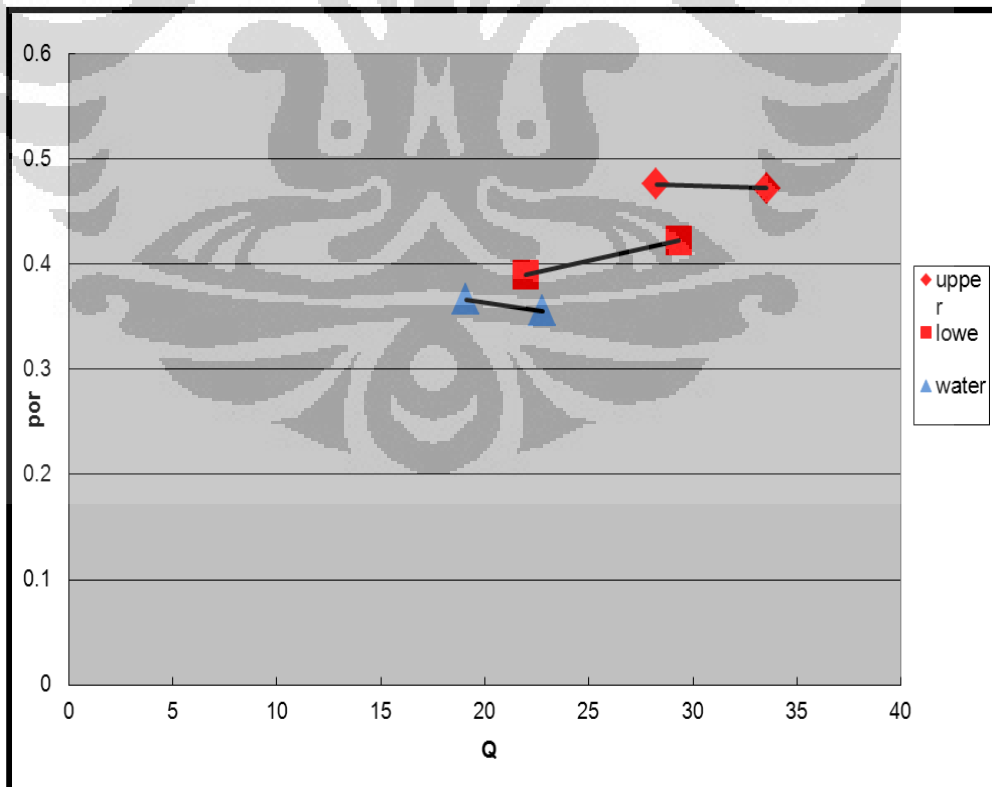
Telah dilakukan krosplot antara tekanan dan nilai faktor kualitas Q pada zona reservoir (Gambar 4.25). Terlihat bahwa zona reservoir dapat terbagi menjadi dua dengan karakter tekanan yang lebih besar pada reservoir bawah. Secara umum, tekanan dengan faktor kualitas memiliki hubungan yang terbalik, dimana tekanan membesar disisi lain faktor kualitas Q akan mengecil, begitupun sebaliknya. Tekanan yang besar akan membuat gelombang seismik akan mudah teratenuasi sehingga atenuasi yang terjadi akan besar.



Gambar 4.24 : Krosplot tekanan dengan kedalaman pada zona reservoir



Gambar 4.25: Krosplot tekanan dengan Q pada zona reservoir



Gambar 4.26 : Krosplot Q dengan porositas pada zona reservoir

Selain dilakukan krosplot dengan tekanan, telah dilakukan krosplot faktor kualitas Q dengan porositas, sehingga dapat diperoleh hubungan antara hasil inversi seismik berupa nilai porositas dengan dekomposisi spektral dengan hasil kuantitas berupa nilai Q . Korelasi antara Q dengan porositas menghasilkan diferensiasi antara reservoir atas, bawah dan zona air (Gambar 4.26). Pada zona air berada pada batuan *limestone* yang berporositas lebih kecil dibandingkan reservoir dengan nilai Q yang kecil pula. Faktor porositas yang semakin mengecil akan membuat nilai Q lebih besar, akan tetapi kehadiran dari fluida air menyebabkan nilai Q menjadi rendah. Secara umum, pola hubungan terbalik antara Q dengan porositas pada zona air. Ditunjukkan oleh garis linier pada data zona air. Pada Reservoir bawah memiliki nilai Q yang lebih besar dibandingkan dengan zona air, akan tetapi keanehan yang terjadi adalah pola hubungan berbanding lurus antara Q dengan porositas. Perlu diketahui bahwa reservoir bawah ini merupakan reservoir *limestone* yang disisipi oleh *claystone*, dan dibawah reservoir ini terdapat kontak gas dengan air, sehingga membuat keanehan tersebut muncul. Pada data reservoir atas diperoleh hubungan yang berbanding terbalik, dimana porositas besar memiliki nilai Q yang kecil, sehingga porositas besar akan menyebabkan terjadi atenuasi yang besar. Perlu diketahui pula, reservoir atas merupakan *limestone* yang masif dengan sedikit perselingan *claystone*.

Dengan analisis kuantitatif akan semakin menguatkan dalam mengenali karakter fisika dan geologi pada reservoir dalam rangka pencarian zona prospek dan penyebaran lateral dari sifat-sifat fisika yang terkait dengan batuan reservoir, dan sifat-sifat fisika gelombang seismik dalam perambatannya melalui medium bawah tanah yang kompleks.

4.6 Perhitungan Cadangan

Perhitungan cadangan merupakan hal penting yang akan sangat menentukan keekonomian dan strateginya. Integrasi interpretasi struktural, inversi seismik untuk mendapatkan impedansi akustik terkait porositas, dekomposisi spektral untuk melihat anomali frekuensi rendah terkait keberadaan hidrokarbon, dan analisis kuantitatifnya menghasilkan penyebaran lateral yang akan diikutsertakan dalam penentuan volum antiklin.

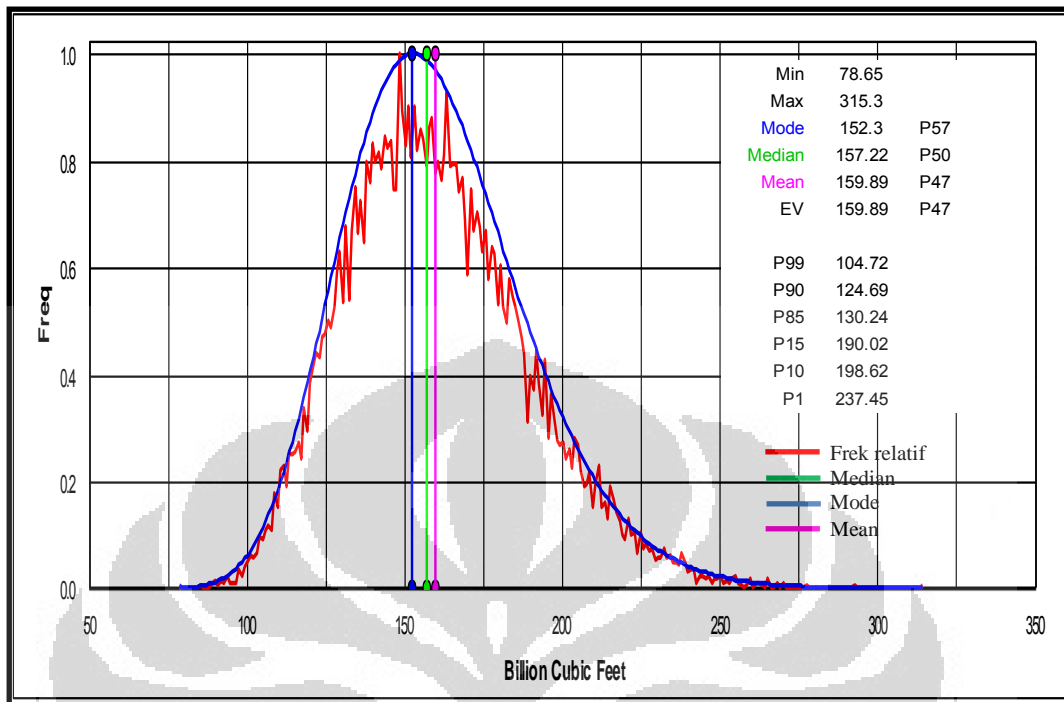
Dalam studi ini, perhitungan cadangan dimulai dengan menentukan parameter yang didapat dari studi petrofisika dan geofisika. Studi geologi, petrofisika, dan geofisika menghasilkan volum antiklin dengan *Gross Rock Volume* (GRV) sebesar 352.297.800 meter kubik, dimana *Net To Gross* (NTG) sebesar 37 persen, porositas sebesar 50 persen, Saturasi air sebesar 0.17 hingga 0.3, dan Bg sebesar 230, dan asumsi *Recovery Factor* (RF) sebesar 50 persen.

Perhitungan cadangan ini, digunakan simulasi montecarlo dengan didapat bahwa pada struktur antiklin XYZ memiliki cadangan sebesar 152.3 bcf.

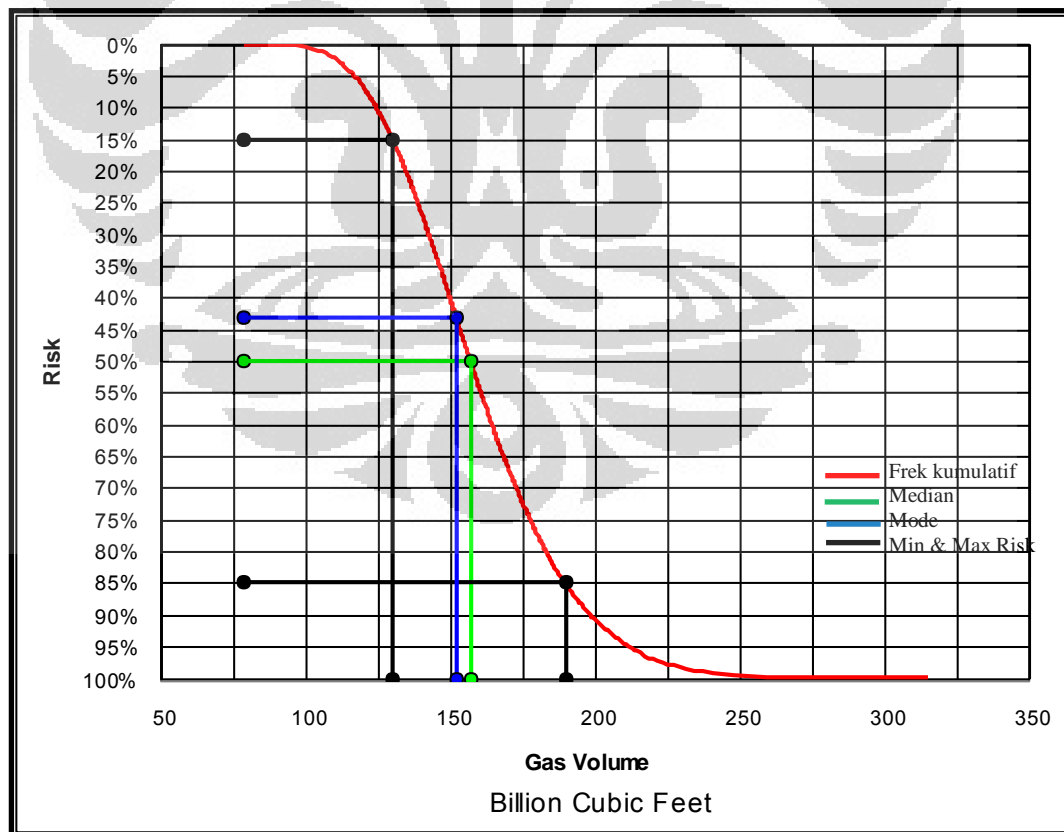
Tabel 4.1 : Input parameter perhitungan

		P90	P10		ML (Input)
GRV	m ³	3.88E+08	3.17E+08	P48	352297800
NTG	frac	0.418	0.342	P61	0.37
Porosity	frac	0.409655	0.335172	P2	0.44
1-Sw	frac	0.88	0.72	P48	0.8
1/Bg	Scf/ft	253	207	P48	230
Rf	frac	0.55	0.45	P48	0.5
Reserve direct calc	(Bcf)	286.9579	86.08287		186.3405077

Hasil simulasi statistik menggunakan metode Montecarlo dengan iterasi sebanyak 20.000 menunjukkan bahwa cadangan reservoir banyak jatuh atau *mode* pada nilai 152.3 bcf (Gambar 4.27) dengan risiko sekitar 44 % (Gambar 4.28).



Gambar 4.27 : Kurva frekuensi dengan volume gas



Gambar 4.28 : Kurva risk dengan volume gas

BAB V

KESIMPULAN

1. Reservoir pada lapangan XYZ ini merupakan reservoir *limestone globigerina* dengan porositas yang sangat besar berkisar 40 sampai 50 persen. Hal ini dapat menjadikan reservoir dalam kategori yang sangat baik. Reservoir ini berumur pertengahan – akhir *Miocene*, dengan ketebalan mencapai 140 meter. Struktur antiklin reservoir lapangan XYZ memiliki arah Barat Laut – Tenggara dengan patahan yang sejajar arah struktur antiklin di sebelah selatannya.
2. Dekomposisi spektral CWT mampu memvisualisasikan anomali frekuensi rendah pada 10 Hz yang diikuti pelemahan atau atenuasi energi pada frekuensi yang lebih tinggi yaitu 20, 30 dan 40 Hz. Penyebaran anomali frekuensi rendah secara lateral terkonsentrasi pada struktur antiklin reservoir lapangan XYZ, dengan diikuti pula atenuasi energi pada frekuensi yang lebih tinggi. Dengan membandingkan amplitudo pada frekuensi rendah dan tinggi merupakan analisis kualitatif untuk mencari pelemahan energi gelombang seismik ketika merambat didalam medium yang terdapat hidrokarbon.
3. Pendekatan pelemahan amplitudo secara eksponensial pada frekuensi yang lebih tinggi dilakukan dengan spektral rasio, dengan membandingkan amplitudo frekuensi rendah dan tinggi sehingga didapatkan nilai gradien yang berkaitan dengan faktor kualitas Q dalam reservoir tersebut. Pada zona reservoir lapangan XYZ dapat terdeskripsikan penyebaran gradien yang rendah yang mencerminkan terjadi atenuasi dalam medium tersebut. Nilai Q yang didapatkan berkisar 20 – 35 pada reservoir *globigerina limestone* lapangan XYZ. Nilai Q dapat terpisahkan pada reservoir atas, reservoir bawah, dan zona air. Keberadaan air akan mengurangi nilai Q hingga mencapai 10.M
4. Melalui hasil Inversi menunjukkan bahwa struktural well XYZ memiliki nilai impedansi akustik yang relatif rendah pada kedalaman interval reservoir 976 sampai 1000 m. Hal ini menunjukkan bahwa reservoir memiliki porositas

yang cukup baik. Hal ini juga diperkuat dengan hasil evaluasi log sumur yang menunjukkan reservoir memiliki porositas sebesar 40-47%. Dengan metode inversi ini dapat memetakan zona-zona yang memiliki porositas yang baik. Berdasarkan hasil inversi didapati porositas yang baik berada di struktur antiklin yang telah terpenetrasi sumur XYZ dan menerus kearah Barat Laut.

5. Krosplot telah dilakukan antara nilai Q dengan tekanan pada reservoir, nilai Q dengan porositas pada reservoir. Krosplot tersebut dapat memisahkan karakter dari reservoir unit. Berdasarkan krosplot, nilai Q akan bertambah seiring dengan bertambahnya tekanan, begitupun sebaliknya. Nilai Q akan bertambah seiring dengan bertambahnya porositas. Nilai Q akan bertambah kecil jika terdapat keberadaan fluida cair. Berdasarkan hasil dekomposisi spektral didapati bahwa zona reservoir memiliki anomali frekuensi rendah pada 10 Hz yang dapat mewakili keberadaan Hidrokarbon. Hal ini sejalan dengan hasil Inversi yang menunjukkan daerah tersebut merupakan daerah yang porous yang dapat menjadi reservoir yang baik. Akan tetapi pada daerah Barat Laut tidak terdapat anomali frekuensi rendah pada reservoir yang sama. Hal ini dimungkinkan jika hidrokarbon pada struktur antiklin XYZ belum mencapai *spill point* sehingga belum bermigrasi, selain itu data seismik tidak mencakup keseluruhan struktur antiklin Barat Laut.
6. Hasil integrasi inversi seismik dan analisa dekomposisi spektral menghasilkan pola penyebaran hidrokarbon dan dengan menggunakan simulasi montecarlo didapatkan perhitungan cadangan cadangan sebesar 152.3 bcf.

DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, Agus, 2007, *Spektral Ratio*, Ensiklopedi Seismik Online.
- Corelab, 2009, *Wells: Biostratigraphy and Nannofacies*, unpublished report for *** Pty Ltd.
- Haris, Abdul., 2012. *Komputasi Geofisika, Program Magister Geofisika Reservoir*, FMIPA UI, Depok.
- Haryono, 2008, *Komparasi Teknik Dekomposisi Spektral Berbasis Metode STFT dan CWT serta Aplikasinya untuk Identifikasi Reservoir Migas*, FMIPA Universitas Indonesia.
- Hauge, P. S., 1981, *Measurement of attenuation from VSP*, *Geophysics*, 46, 1548 – 1558.
- HRS, 1994, *Introduction To Seismic Lithology And AVO*, Hampson - Russel Software Services Ltd, Canada, 24.
- Korneev et al, 2004, *Seismic low frequency effect is monitoring fluid-saturated reservoir*, *Geophysics* Vol. 69, No.2, p. 522-532
- Margrave, Gary F., 2001, *Numerical Methods of Exploration Seismology with Algorithms in MATLAB*, Department of Geology and Geophysics The University of Calgary.
- Matlab, 2008, *Matlab Toolbox*, Mathworks.
- Munadi, S., 2000, *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika*, FMIPA Universitas Indonesia.
- Noble, R.A. dan Henk, F.H. Jr, 1998, *Hydrocarbon charge of a bacterial gas field by prolonged methanogenesis: An example from the East Java Sea, Indonesia*, *Advances in Organic Geochemistry*, 29, p. 301-314.
- Partyka, G.J., Gridley, J., and Lopez, J. 1999. *Interpretational Applications of Spectral Decomposition in Reservoir Characterization*. *The Leading Edge*, 18, 353-360
- Robi Polikar, 1995, *Multiresolution Wavelet Analysis of Event Related Potentials for the Detection of Alzheimer's Disease*, Iowa State University.
- Satyana, A.H., 2004, *Oligo-Miocene Carbonates of the East Java Basin, Indonesia : Facies Definition Leading to Recent Significant Discoveries*, *Proceedings*

AAPG International Conference and Exhibition, Barcelona, Spain.

Sinha, Satish, Partha S. Routh, Phil D. Anno, and John P. Castagna, 2005, *Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform*, Geophysics, Vol. 70, No. 6, p. 19–25.

Sukmono, S., 2000, *Seismik Atribut Untuk Karakterisasi Reservoar*, Jurusan Teknik Geofisika-ITB, Bandung .

TeleAtlas, 2011, *World Map*, Google map : Europa Technologies

Walls, 2006, *Novel Use of P- and S-wave Seismic Attenuation for Deep Natural Gas Exploration and Development* , Rock Solid Images, Houston Texas.

Yanyan et al, 2007, *An example of the pliocene Globigerina bioclastic limestone play in the East Java Basin - Indonesia*, Indonesia : IPA

