

**ESTIMASI HARGA PERMEABILITAS RELATIF
MENGUNAKAN DATA SEISMIK**

TESIS

Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Magister dari
Universitas Indonesia



Disusun oleh :
Roy Baroes
NPM : 6305210216

**PROGRAM PASCASARJANA GEOFISIKA RESERVOAR
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA, 2008**

SARI

Nama : Roy Baroes
Program Studi : Geofisika Reservoar
Judul : Estimasi Harga Permeabilitas Relatif Menggunakan Data Seismik

Permeabilitas merupakan suatu properti dinamis yang mencerminkan kemampuan batuan reservoir untuk mengalirkan fluida. Apabila batuan terkompresi akibat tekanan gelombang seismik yang melewatinya, peningkatan energi tekanan pori batuan akan menyebabkan fluida pada pori batuan tersebut berpindah.

Mitchell (1996), memperkenalkan suatu metoda *Energy Absorption Analysis* untuk mengestimasi harga atenuasi relatif medium bumi menggunakan analisa *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk setiap jendela waktu dan melakukan *curve fitting* sehingga mendapat harga koefisien atenuasi relatif. Estimasi harga faktor kualitas relatif (Q) dilakukan melalui hubungan antara atenuasi dan faktor kualitas (Johnston dan Toksoz, 1981). Estimasi harga permeabilitas relatif dilakukan menggunakan metoda Q (Sismanto, 2003) untuk mendapatkan penampang permeabilitas relatif.

Studi terhadap metoda ini dilakukan menggunakan data seismik 2D *Pre-Stack Time Migration Preserve Amplitude*. Target merupakan zona produktif berupa minyak sebesar 609 BOPD dan gas sebesar 4.2 MSCFGD.

Penerapan metoda ini menghasilkan penampang yang menunjukkan adanya anomali pada zona target berupa harga atenuasi yang relatif tinggi, harga faktor kualitas (Q) yang relatif rendah dan harga permeabilitas yang relatif tinggi.

Kata kunci : Permeabilitas, atenuasi, faktor kualitas, *Energy Absorption Analysis*

ABSTRACT

Name : Roy Baroes
Major : Reservoir Geophysics
Title of Thesis : Estimation Value of Relative Permeability Using Seismic Data

Permeability is one of the important parameter in the process of reservoir characterization, in where permeability is dynamic property and reflecting the ability of a reservoir petrification to channel fluid. If seismic wave crawls in a way as energy spreading and affects deformation against petrification's pores and increases gradient of pressures on petrification's pores, that will finally affects fluid to be able to flow between the connected pore's spaces.

Mitchell (1996), introduced a method namely Energy Absorption Analysis to estimate the value of relative attenuation of earth medium using the Fast Fourier Transform (FFT) analysis for any time frame and to match curve so that the value of relative coefficient attenuation may be obtained, to further reduce and obtain the value of relative quality factor (Q) use attenuation and quality factor introduced by Johnston and Toksoz (1981). Estimation of the value of relative permeability may be done by using Q method (Sismanto, 2003) to obtain a relative permeability section.

This method is tested by using 2D real seismic data Pre-Stack Time Migration that is considered Preserve Amplitude in the processing stage. The target is productive zone which is oil in the quantity of 609 BOPD and gas in the quantity of 4.2 MSCFGD.

The implementation of this method shall result section that show the existence of anomaly on the target zone that is the high value of relative attenuation, the quality factor (Q) is relatively low and the permeability is relatively high.

Keyword:

Permeability, attenuation, quality factor, Energy Absorption Analysis.

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul : Estimasi Harga Permeabilitas Relatif Menggunakan Data Seismik
Estimation Value of Relative Permeability Using Seismic Data
Nama : Roy Baroes
NPM : 6305210216

Menyetujui :

Pembimbing

(Prof. Dr. Suprayitno Munadi)

Penguji :

(Dr. Waluyo)

(Dr. Abdul Haris)
NIP. 132 090 909

(Dr. Safrizal)

Program Studi Magister Fisika
Program Pascasarjana FMIPA UI

Ketua

(Dr. Dedi Suyanto)
NIP. 130 935 271

Tanggal Lulus : 17 Mei 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur hanya kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya maka penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis dengan judul ESTIMASI HARGA PERMEABILITAS RELATIF MENGGUNAKAN DATA SEISMIK, ini ditujukan untuk memenuhi kurikulum perkuliahan dan merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Fisika Program Studi Geofisika Reservoir, Pascasarjana FMIPA Universitas Indonesia. Penulisan tesis ini dapat diselesaikan dengan baik tidak lepas dari bimbingan dan bantuan banyak pihak. Untuk itu penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak. Prof. Dr. Suprayitno Munadi, selaku pembimbing tesis yang telah banyak memberikan masukan dan bantuan pengarahan sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr. Abdul Haris, Bapak Dr. Waluyo dan Bapak Dr. Safrizal selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam sidang tesis ini sehingga penulis dapat melakukan perbaikan-perbaikan terhadap berbagai kekurangan dalam penulisan.
3. Teman-teman mahasiswa Geofisika Reservoir Pascasarjana FMIPA Universitas Indonesia, khususnya angkatan 2005.
4. Ibu, Bapak dan Istriku tercinta yang telah memberikan semangat dan dorongan moril kepada penulis.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya. Untuk penyempurnaan tesis ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak.

Jakarta, Mei 2008
Penulis

Roy Baroes
6305210216

DAFTAR ISI

	Halaman	
SARI	ii	
ABSTRAK	iii	
LEMBAR PERSETUJUAN	iv	
KATA PENGANTAR	v	
DAFTAR ISI	vi	
DAFTAR GAMBAR	viii	
DAFTAR TABEL	ix	
BAB		
I	PENDAHULUAN	
1.1	Masalah Penelitian dan Latar Belakang	1
1.2	Ruang Lingkup dan Batasan Permasalahan	3
1.3	Hipotesa	4
1.4	Tujuan	4
II	TINJAUAN PUSTAKA	
2.1	Atenuasi	6
2.2	Mekanisme Atenuasi dan Faktor Q	7
2.3	Permeabilitas	10
2.4	Hubungan Kecepatan, Permeabilitas dan Frekuensi Secara Teoritis	12
2.5	Kecepatan Gelombang Elastik didalam Batuan Sedimen	14
III	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1	Garis Besar Metoda Penelitian	18
3.2	Tahapan Persiapan Estimasi Permeabilitas Relatif	18
3.2.1	Data Seismik , Kecepatan RMS dan Kecepatan survey	19
3.2.2	Penentuan Parameter Dasar	24

3.2.3	Energy Absorption Analysis	24
3.2.4	Estimasi Faktor Kualitas Relatif	26
3.2.5	Perhitungan Permeabilitas Relatif	26
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Estimasi Koefesien Atenuasi Relatif	28
4.2	Estimasi Faktor Kualitas (Q) Relatif	31
4.3	Estimasi Permeabilitas Relatif	32
V	KESIMPULAN	35
	DAFTAR PUSTAKA	36
	LAMPIRAN	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Hubungan permeabilitas batupasir terhadap kecepatan berbagai frekuensi	15
Gambar 2.2 Hubungan permeabilitas batupasir terhadap frekuensi dengan berbagai kecepatan	15
Gambar 2.3 Kurva teoritis hubungan atenuasi terhadap permeabilitas	16
Gambar 3.1 Windowed FFT Energy Absorption Analysis	18
Gambar 3.2 Layer produktif penampang seismik	19
Gambar 3.3 Zona target penelitian, interval 4200 ft – 4300 ft	20
Gambar 3.4 Zona target penelitian, trace 45, interval 1220 ms – 1260 ms	21
Gambar 3.5 Profil kecepatan RMS	22
Gambar 3.5 Penampang kecepatan survey	22
Gambar 3.5 Alur kerja estimasi permeabilitas relatif	23
Gambar 4.1 Windowed Fast Fourier Transform	28
Gambar 4.2 Penampang atenuasi relatif zona produktif	29
Gambar 4.3 Penampang frekuensi dominan	30
Gambar 4.4 Penampang Q relatif	31
Gambar 4.5 Penampang permeabilitas relatif	32
Gambar 4.6 Stratigrafi regional daerah penelitian	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel III.1 Parameter fisis dasar Batupasir [Turqut dan Yamamoto, 1990]	24
Tabel III.2 Parameter Energy Absorption Analysis.	25



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Masalah Penelitian dan Latarbelakang

Dengan semakin berkembangnya teknologi seismik releksasi pada pertengahan abad ke-20, industri migas mengalami kemajuan yang sangat pesat. Meningkatnya kebutuhan minyak dan gas ditandai dengan harga minyak dunia yang menembus harga \$100 per barrel menyebabkan banyak perusahaan-perusahaan minyak diseluruh dunia meningkatkan usaha-usaha dalam upaya meningkatkan produksi baik berupa kegiatan eksplorasi dan pengembangan sumber-sumber hidrokarbon. Di Indonesia, metoda seismik sejak awal telah digunakan untuk memetakan geometri struktur jebakan hidrokarbon. Berdasarkan interpretasi data seismik, ladang-ladang migas berukuran besar banyak ditemukan, yang pada umumnya berada pada reservoir dengan struktur antiklin. Data seismik menjadi salah satu alat yang sangat penting dalam kegiatan eksplorasi migas. Tingkat keberhasilannya banyak ditentukan oleh kualitas data seismik, walaupun masih terdapat beberapa keterbatasan, seperti resolusi data seismik yang rendah.

Perkiraan cadangan migas di ladang eksplorasi mempunyai peranan penting baik ditinjau dari segi ekonomi, sosial politik, pengembangan wilayah, pembangunan dan ketahanan nasional. Teknologi perkiraan cadangan banyak melibatkan kemampuan ahli-ahli geologi, produksi, geofisika, reservoir, analisa log dan komputer.

Seiring dengan kemajuan teknologi instrumentasi (akuisisi data), komputasi dan pemrosesan data, maka teknologi seismik berkembang dari era struktur (konvensional) memasuki era stratigrafi, selain karena jebakan-jebakan struktur sudah sulit dicari. Sehingga masa kini muncul teknik sekuen stratigrafi, interpretasi stratigrafi, pemrosesan/pemodelan stratigrafi dan lain-lain. Dengan demikian tampak bahwa teknologi seismik telah mulai berkembang ke arah *seismic lithology* dan petrofisika. Data seismik digunakan untuk memperkirakan litologi atau jenis

batuan bawah permukaan, kandungan fluida, porositas beserta sifat-sifat fisiknya.

Seringkali reservoir minyak dan gas bumi dikarakterisasikan dalam bentuk besaran-besaran reservoir seperti volume, tekanan, suhu, porositas, permeabilitas, dan kejenuhan fluida. Perkembangan mutakhir dari penelitian dan pengujian laboratorium baik secara analitis maupun empiris, menunjukkan adanya hubungan yang sangat erat antara besaran-besaran petrofisika reservoir tersebut dengan parameter inelastik dan elastik gelombang seismik (Klimentos, 1991; Schon, 1998; Mavko, dkk., 1998) seperti koefisien atenuasi, faktor kualitas, amplitudo (koefisien refleksi), frekuensi, kecepatan dan faktor fluida (Smith dan Gidlow, 1987; Mavko, dkk., 1998). Persoalannya tinggal bagaimana mengekstraksi parameter atau besaran reservoir migas tersebut dari gelombang seismik yang terekam di dalam pita magnetik. Walaupun disadari bahwa skala seismik yang bekerja dalam ukuran makro yang sangat berbeda daya resolusinya dengan skala parameter reservoir yang berada pada ukuran mikro, seperti porositas, permeabilitas dan lain sebagainya.

Meskipun saat ini metoda dalam melakukan karakterisasi reservoir sudah sangat berkembang, namun sangat jarang sekali yang dapat melakukan karakterisasi reservoir pada tahap-tahap awal kegiatan eksplorasi, yang artinya kebanyakan kegiatan karakterisasi reservoir dilakukan setelah adanya data log dari sumur pengeboran atau data lain dalam skala mikro. Seandainya saja pada tahap eksplorasi bisa didapatkan suatu gambaran sifat-sifat reservoir langsung dari data seismik, maka hal tersebut akan sangat membantu dalam memantapkan suatu prospek sebelum dilakukan pengeboran suatu sumur migas.

Pada penelitian ini diharapkan dapat melakukan suatu karakterisasi sifat fisis dari batuan reservoir yaitu sifat permeabilitasnya dengan menggunakan data seismik..

1.2 Ruang lingkup dan batasan permasalahan

Ruang lingkup atau batas penelitian ini adalah kajian terhadap analisa gelombang seismik pada data *trace* seismik yang membawa informasi medium bawah permukaan bumi.

Ekstraksi informasi kandungan frekuensi pada *trace* seismik dilakukan melalui metoda *Energy Absorption Analysis* (Mitchell, 1996) menggunakan algoritma FFT (*Fast Fourier Transform*) dan menghasilkan informasi peluruhan energy dan frekuensi dominan. Berdasarkan informasi ini, dilakukan estimasi harga faktor kualitas melalui hubungan antara atenuasi dan faktor kualitas dan selanjutnya didapatkan harga permeabilitas relatif menggunakan metoda Q (Sismanto, 2003).

Metodologi ini diterapkan pada data seismik hasil pengolahan data *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) yang memiliki suatu zona reservoir klastik batu pasir sebagai daerah penelitian dan menggunakan besaran-besaran fisis dasar yaitu viskositas fluida, modulus bulk fluida, densitas fluida, densitas butiran dan modulus bulk butiran dari penelitian Sismanto pada tahun 2003 yang melakukan estimasi permeabilitas batuan reservoir batu pasir tebal dan homogen menggunakan metoda analisa atenuasi *inelastic* data seismik.

Algoritma pemrograman dalam penelitian ini ditulis dalam bahasa pemrograman Matlab, yang dimodifikasi sesuai dengan tujuan dan keperluan penelitian.

Penelitian ini menerapkan beberapa metoda penelitian yang pernah dilakukan, baik itu berupa asumsi-asumsi atau beberapa parameter umum yang dipakai didalamnya dan mengkaji apakah melalui analisa atenuasi gelombang seismik memungkinkan diturunkannya nilai permeabilitas suatu batuan reservoir.

1.3 Hipotesa

1. Perambatan gelombang seismik di dalam batuan menyebabkan perubahan sifat-sifat fisis reservoir sesaat (saat dikenai tekanan gelombang), oleh karena itu dengan memanfaatkan respons balik gelombang maka parameter elastik dan parameter petrofisika reservoir dapat dihitung.
2. Parameter reservoir dan elastisitas batuan, khususnya permeabilitas dapat diestimasi melalui hubungan antar parameter tersebut dengan menggunakan data perambatan gelombang seismik yang direkam di permukaan.

1.4 Tujuan

1. Mencari koefisien attenuasi gelombang seismik (relatif) melalui analisa absorpsi energi gelombang seismik.
2. Mempelajari pengaruh attenuasi gelombang seismik terhadap harga permeabilitas batuan.
3. Menentukan harga permeabilitas relatif menggunakan data seismik

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Perekaman gelombang seismik refleksi yang dilakukan dapat memberikan informasi yang sangat kompleks mengenai keadaan bawah permukaan. Sifat kompleks yang dibawa oleh gelombang seismik ini justru merupakan suatu kelebihan dibandingkan dengan metoda lain.

Walaupun terdapat banyak keterbatasan dalam metoda seismik, terutama yang berkaitan resolusi data seismik, namun para ahli mulai banyak yang berusaha untuk mengekstrak informasi-informasi yang dibawa data seismik secara lebih rinci, daripada sekedar struktur dan strata seperti yang selama ini dilakukan. Informasi-informasi yang dimaksud adalah parameter-parameter petrofisika dari batuan reservoir yang berada di bawah permukaan. Untuk mendapatkan informasi tersebut, salah metoda konvensional yang sering dilakukan adalah melalui pengambilan inti pengeboran (*coring*) dan data log.

Teknologi seismik yang kini telah berkembang begitu pesat mengarah pada seismik lithologi dan petrofisika mampu menghasilkan informasi-informasi yang lebih detil dan akurat, sehingga seringkali data-data seismik masa lalu diproses ulang untuk dikaji lebih mendalam. Data seismik permukaan telah digunakan seoptimal mungkin untuk memperkirakan karakter lithologi suatu jenis batuan reservoir bawah permukaan secara lebih rinci dan spesifik.

Biot (1956a) merumuskan formula secara teoritis untuk menghitung kecepatan gelombang P dan gelombang S sebagai fungsi frekuensi pada batuan elastik, berpori dan tersaturasi fluida. Di dalam konsepnya ia menggunakan mekanisme interaksi inersia dan viskositas antara fluida yang mengisi pori dengan mineral-mineral matrik batuan yang mengarah pada suatu sistem aliran fluida global dengan arah horizontal. Dalam penyelesaiannya diperoleh kecepatan gelombang tipe-1, kecepatan gelombang tipe-2, dan kecepatan gelombang S. Sebelumnya, Gassmann (1951) telah merumuskan kecepatan gelombang dilatasi pada frekuensi rendah (<100 Hz) sampai

mendekati nol. Rumusan tersebut dikenal dengan persamaan Gassmann. Geertsma dan Smit (1961) mengembangkan konsep Biot sehingga diperoleh persamaan kecepatan yang berlaku untuk frekuensi rendah sampai menengah.

Mavko dan Nur (1975), Mavko dan Jizba (1991), dan Dvorkin dkk. (1995) membahas konsep yang berlaku untuk semua frekuensi, yaitu dengan model aliran "*squirt*" (semburan). Di dalam konsep tersebut aliran fluida dianggap tidak sebagai aliran global yang bergerak ke satu arah (Biot) melainkan sebagai aliran lokal yang bisa bergerak ke segala arah. Perubahan-perubahan perumusannya banyak terjadi pada besaran-besaran elastisitas mikro yang lebih kompleks. Dvorkin dan Nur (1993) dan Dvorkin dkk. (1994) menggabungkan konsep Biot dengan konsep Squirt yang disebut sebagai model BISQ (*Biot-Squirt*). Formula BISQ dapat digunakan untuk menghitung kecepatan dan atenuasi batuan yang jenuh sebagian oleh fluida pada setiap frekuensi. Sementara asumsi yang dibuat adalah isotrop dan semua mineral penyusun batuan mempunyai modulus bulk dan modulus geser yang sama (Mavko dkk. 1998). Dalam penelitian ini peneliti mengasumsikan aliran fluida bergerak secara laminar di dalam suatu reservoir pada arah horizontal.

Dalam suatu pengukuran data seismik, tidak semua informasi parameter reservoir bisa didapat dengan pengukuran langsung. Untuk mendapatkan nilai beberapa parameter reservoir yang tidak dapat diukur secara langsung, dilakukan suatu perhitungan matematis dan permodelan.

2.1 Atenuasi

Gelombang seismik yang merambat di dalam medium akan mengalami efek peredaman akibat terserapnya sebagian energi menjadi panas, *spherical divergence*, hamburan, pantulan dan pembiasan dari sistem perlapisan batuan bumi. Sehingga gelombang tersebut akan mengalami perubahan kecepatan, amplitudo, pergeseran frekuensi dan fasa (pelebaran pulsa). Perubahan-perubahan parameter gelombang tersebut sangat bergantung pada sifat-sifat elastisitas batuan dan besaran-besaran fisis reservoir. Efek perubahan amplitudo, kecepatan, dan pelebaran pulsa dapat

diwujudkan dalam bentuk perubahan spektrum gelombang yang menggambarkan perubahan energi tersebut.

Peredaman gelombang seismik dapat didefinisikan sebagai proses penyerapan energi oleh medium yang mengakibatkan pelemahan amplitudo gelombang. Pengaruh peredaman terhadap sinyal seismik terlihat pada menurunnya amplitudo dan melebarnya sinyal. Sehingga peredaman merupakan proses kombinasi antara proses pengurangan energi akibat geometri dan penyerapan energi yang berlangsung secara simultan. Pengaruh ini sebenarnya berasal dari semua parameter fisis medium bumi yang membentuk suatu sistem peredaman terhadap gelombang seismik yang besarnya dapat didekati dengan koefisien atenuasi α . Sedangkan besaran yang mempunyai harga berbanding terbalik dengan redaman gelombang seismik disebut faktor kualitas Q atau faktor disipasi Q^{-1} (*attenuation*). Jadi Q merupakan ukuran seberapa besar batuan untuk meneruskan atau menghambat energi gelombang yang melaluinya.

2.2 Mekanisme Atenuasi dan Faktor Q

Mekanisme atenuasi gelombang seismik sangat rumit. Pada umumnya fenomena perambatan gelombang elastik cukup sederhana sehingga dapat dipahami dengan mudah, namun untuk fenomena perambatan gelombang inelastik yang berkaitan dengan atenuasi tidak mudah dipahami. Banyak ahli telah melakukan penelitian dalam masalah ini, dan mereka melakukan klasifikasi perilaku atenuasi menurut dua pendekatan (Johnston dan Toksós, 1981)

1. Metoda yang menjelaskan atenuasi alamiah, seperti persamaan umum pada gelombang elastik linier (hukum Hooke) atau yang telah dimodifikasi untuk non linier tertentu.
2. Metoda mekanisme dengan menggunakan ungkapan fisis dan matematis untuk memodelkan mekanisme atenuasi. Beberapa model mekanisme tersebut antara lain seperti yang diajukan oleh :

- (a). Walsh, yaitu berupa model disipasi gesekan. Total atenuasi di dalam batuan disebabkan oleh sejumlah sumber disipasi, salah satu sumber disipasi adalah disipasi gesekan akibat permukaan celah retakan atau partikel kontak dengan permukaan yang lain selama gelombang seismik melaluinya. Model mekanisme atenuasi ini disebut juga sebagai matrik inelastik.
- (b). Walsh dan Solomon, menyatakan bahwa atenuasi dapat disebabkan oleh adanya aliran fluida, termasuk gerakan relaksasi geser pada batas fluida dengan pori-pori batuan.
- (c). Biot, Stolt dan Bryan, didasari oleh gagasan-gagasan Biot mengenai disipasi, menyebutkan bahwa atenuasi di dalam batuan jenuh fluida, disebabkan oleh gerak relatif terhadap masuknya fluida. Mekanisme ini mengabaikan atenuasi frekuensi rendah di dalam batuan yang terkompaksi, yang mana hal ini cukup berperan pada frekuensi ultrasonik atau di dalam batuan sedimen yang permeabel tak terkompaksi pada frekuensi menengah.
- (d). Savage mengajukan mekanisme lain, yaitu adanya atenuasi thermoelastik di dalam batuan yang menghasilkan celah retakan. Model ini memperkirakan adanya penurunan atenuasi pada penambahan tekanan. Ia juga meramalkan adanya kenaikan nilai Q untuk frekuensi rendah.
- (e). Mavko dan Nur, O'Connell dan Budiansky, mengajukan mekanisme atenuasi oleh adanya gejala aliran semburan (*squirting*). Aliran fluida diantar oleh celah retakan ke tempat lain, yang disebut sebagai menyembur.
- (f). White, memperluas model aliran fluida dengan melibatkan efek kantong-kantong bola gas di dalam batuan porous yang jenuh fluida. Perbedaan tekanan pada bidang batas fluida-gas akan memperkuat aliran fluida, oleh karena itu akan mempengaruhi atenuasi pada frekuensi seismik.
- (g). Spetzler dan Anderson, mekanisme atenuasi dapat ditimbulkan oleh penyerapan energi dalam sistem yang mengalami perubahan fasa.
- (h). O'Doherty dan Anstey, serta Spencer menuturkan bahwa efek geometri kategori besar, termasuk tersebarnya pori-pori kecil dan ketidak-teraturan yang luas serta

bidang refleksi dari sistem perlapisan tipis, turut mempengaruhi mekanisme atenuasi.

Secara mekanis pendekatan-pendekatan di atas cukup memuaskan untuk menjelaskan gejala fisis atenuasi. Akan tetapi model-model matematis yang dibuat untuk mengungkapkan mekanisme tersebut seringkali terbatas oleh parameter-parameter yang dipilih, yang tidak utuh sesuai dengan kondisi alam.

Akhirnya dapat dikatakan bahwa, atenuasi yang terukur pada batuan disebabkan oleh sejumlah mekanisme dan sangat kompleks. Model mekanisme yang lebih dominan berlaku, bergantung pada kondisi fisis batuan tersebut. Dan setiap mekanisme sangat bergantung pada jenis batuan, keadaan kejenuhan fluida, tekanan, frekuensi dan amplitudo/energi gelombang akustik serta variasi-variasi sifat batuan lainnya.

Seperti yang dituturkan pada Johnston dan Toksoz (1981), bahwa atenuasi bergantung pada frekuensi, tekanan, amplitudo regangan, suhu, saturasi fluida, geometri celah retakan/pori, ukuran butir, porositas, permeabilitas dan kandungan lempung. Namun seberapa besar suatu batuan dapat meredam gelombang seismik, sangat ditentukan oleh kondisi fisis batuan itu sendiri dan frekuensi gelombang seismik yang melewatinya. Seberapa besar kebergantungan atenuasi terhadap suatu parameter batuan serta seberapa besar pengaruh faktor lainnya belum dapat dipahami sepenuhnya. Seperti halnya kecepatan, hampir semua faktor yang mempengaruhi kecepatan, juga berpengaruh pada mekanisme atenuasi. Namun demikian perubahan atenuasi akibat perubahan sifat fisis batuan umumnya lebih sensitif dari pada perubahan kecepatan.

Faktor Q atau faktor disipasi didefinisikan (Johnston dan Toksoz, 1981) sebagai,

$$\frac{1}{Q} = \frac{\alpha V}{\pi f}$$

(II.1)

Dimana :

Q = Faktor Kualitas

f = Frekuensi Dominan

α = Koefisien Atenuasi

V = Kecepatan Gelombang.

π = 3.14

Definisi Q yang berangkat dari perubahan energi per setiap siklus dinyatakan dengan

$$Q = \frac{\omega E}{-dE/dt} = \frac{2\pi W}{\Delta W} \quad (\text{II.2})$$

dengan E adalah energi sesaat sistem, $-dE/dt$ adalah energi rata-rata yang hilang, W adalah energi elastik yang tersimpan pada tegangan dan regangan maksimum, dan dW adalah energi yang hilang per siklus. Dari pengertian tersebut dapat dipahami bahwa parameter gelombang, parameter elastisitas, dan parameter reservoir saling berkaitan baik secara langsung maupun tidak langsung, terutama tersirat di dalam kecepatan dan atenuasi.

2.3 Permeabilitas

Permeabilitas merupakan sifat batuan berpori yang mengalirkan fluida melalui ruang-ruang pori. Permeabilitas bergantung pada porositas, dimensi dan geometri ruang pori sehingga dapat merupakan sebuah tensor. Henry Darcy menemukan hubungan dasar untuk suatu aliran laminar fluida viskos yang melalui batuan berpori sebagai berikut:

$$\mathbf{u} = -\frac{k_p}{\eta} \nabla p \quad (\text{II.3})$$

dengan \mathbf{u} adalah volume densitas aliran atau volume fluida yang mengalir persatuan luas, sering disebut juga sebagai kecepatan filtrasi. p adalah tekanan fluida, η adalah viskositas dinamik dan k_p adalah koefisien permeabilitas batuan atau sering disebut dengan permeabilitas saja. Untuk menyatakan permeabilitasnya persamaan (II.2) dituliskan kembali sebagai berikut ,

$$k_p = -\eta \frac{\mathbf{u}}{\nabla p} \quad (\text{II.4})$$

Persamaan (II.4) berlaku untuk kondisi isotrop dan aliran fluida laminar. Pada batuan anisotrop permeabilitasnya harus diperhitungkan sebagai tensor (Schon, 1998). Jika suatu batuan berpori dan permeabel mengalirkan dua jenis fluida, misal air sebagai fluida basah dan minyak sebagai fluida tak basah, maka terdapat permeabilitas relatif yang didefinisikan sebagai perbandingan antara permeabilitas efektif dari masing-masing fluida terhadap permeabilitas batuan absolutnya. Satuan permeabilitas dalam SI adalah m^2 atau lazimnya μm^2 .

Dalam industri dan keperluan teknis sering dinyatakan dalam Darcy (d) yang didefinisikan sebagai 1 d artinya suatu batuan dapat meloloskan fluida yang mempunyai viskositas 1 cP (centiPoise) dengan kecepatan filtrasi 1 cm/s pada gradien tekanan 1 atm/cm. Satuan yang sering digunakan adalah milidarcy (md), sedangkan konversi md ke SI adalah,

$$1 \text{ d} = 0,9869 \mu m^2 = 0,9869 \times 10^{-12} m^2 \quad (\text{II.5})$$

sehingga, $1 \mu m^2 = 1,0133 \text{ d}$, atau untuk keperluan praktis $1 \text{ d} \approx 1 \mu m^2$. Untuk reservoir migas yang tergolong bagus bila mempunyai nilai permeabilitas $k_p \geq 100 \text{ md} = 0,1 \text{ d}$ (Gueguen dan Palciauskas, 1994). Di dalam hidrologi, aliran fluidanya selalu air, sehingga gradien tekanan fluida diperoleh dari beda tinggi Δh antara beda dua jarak Δs . Maka dalam kajian hidrologi persamaan (II.4) dituliskan kembali dalam bentuk,

$$u = k_f - \frac{\Delta h}{\Delta s} \quad (\text{II.6})$$

dengan k_f disebut sebagai koefisien permeabilitas hidrolik atau konduktivitas yang mempunyai dimensi kecepatan (cm/s). Persamaan (II.6) tersebut berlaku hanya pada medium yang berisi air, artinya untuk viskositas dan densitas fluida tetap. Dengan pengertian tersebut, satuan permeabilitas k_p mempunyai faktor konversi dengan k_f sebagai, 1 md & 10^{-6} cm/s = 10^{-8} m/s, atau 1 m/s $\approx 10^5$ d. Untuk akuifer (reservoir yang berisi air) yang tergolong bagus mempunyai permeabilitas ≥ 1 d.

2.4 Hubungan kecepatan, permeabilitas dan frekuensi secara teoritis.

Secara komposisi mineral, batuan sedimen akan memiliki efek yang kuat terhadap kecepatan, akibat adanya pengaruh modulus elastisitas efektif batuan yang peka terhadap ukuran butiran, pori, ikatan butiran sementasi dan kontak antar butiran. Terdapat banyak jenis batuan klastik yang sangat dipengaruhi porositas, kecuali batuan hasil penguapan seperti halite atau batugaram. Silfit, gipsum dan sebagainya yang secara umum bebas dari ruang pori. Sehingga variasi kecepatan hanya tergantung pada tekanan atau kedalaman. Sifat-sifat elastisitas batuan klastik berpori seperti batupasir, batulempung dan karbonat misal batuan gamping dan dolomit yang pada dasarnya dikontrol oleh komposisi dan porositasnya. Komposisi matrik juga mempengaruhi kondisi kontak, sementasi dan ikatan butiran tersebut.

Persamaan empiris yang sering digunakan untuk menghubungkan kecepatan terhadap porositas untuk batuan takterkompakkan ialah:

$$V_p = (1 - \Phi)^2 V_m + \Phi V_f \quad (\text{II.7})$$

dengan V_p kecepatan gelombang P dalam batuan sedimen berpori yang tersaturasi fluida, V_m adalah kecepatan gelombang di dalam butiran matriknya dan V_f kecepatan gelombang di dalam fluida pori. Bentuk tak linier yang lain, dicontohkan oleh Gardner dkk. (1974) yang berupa:

$$V_p = 108 \rho^4 \quad (\text{II.8})$$

dengan kecepatan dalam km/s dan densitas dalam g/cm³ dan seperti yang telah diuraikan di depan bahwasanya densitas sangat bergantung pada porositas.

Lempung didalam batuan kerap menimbulkan masalah tersendiri (Castagna dkk., 1985), karena dengan adanya lempung sebagian ruang pori akan diisi olehnya, sehingga akan mengurangi kecepatan dan modulus elastisitas. Terdapat banyak hubungan empiris yang mengungkap kecepatan sebagai fungsi porositas dan kandungan lempung, diantaranya seperti yang diturunkan oleh Tosaya dan Nur (1982) sebagai berikut,

$$V_p (km/s) = 5,8 - 8,6 \Phi - 2,4 C_l \quad (II.9)$$

$$V_s (km/s) = 3,7 - 6,3 \Phi - 2,1 C_l \quad (II.10)$$

dengan porositas Φ dan kandungan clay C_l dinyatakan dalam fraksi volume.

Biot (1956a, 1956b) menurunkan rumusan-rumusan secara teoritis untuk memperkirakan ketergantungan kecepatan gelombang elastik terhadap frekuensi gelombangnya di dalam batuan yang tersaturasi fluida dengan menggunakan sifat-sifat elastisitas batuan. Perumusannya menyangkut mekanisme viskositas dan interaksi inersial antara fluida pori dengan mineral matriknya dalam batuan. Biot memberikan dua penyelesaian untuk gelombang P yang disebut sebagai gelombang cepat dan gelombang lambat serta satu untuk gelombang S. Gelombang cepat adalah gelombang badan kompresi yang identik dengan gelombang P seperti yang dapat diukur di laboratorium maupun di lapangan. Sedangkan gelombang lambat merupakan gelombang yang disipasi energi tinggi di dalam medium padat dan fluida, sehingga tidak dapat ditangkap dengan alat biasa seperti yang sering digunakan di lapangan maupun di laboratorium (Mavko dkk. 1998).

Geerstma dan Smit (1961) mengkaji persamaan Biot dari frekuensi rendah hingga menengah untuk memprediksi hubungan ketergantungan kecepatan terhadap frekuensi dalam batuan yang tersaturasi fluida, hasilnya dinyatakan sebagai berikut:

$$V_p^2 = \frac{V_\infty^4 + V_o^4 \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}{V_\infty^2 + V_o^2 \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \quad (\text{II.11})$$

V_p adalah kecepatan gelombang P dalam batuan tersaturasi, V_o adalah kecepatan gelombang P pada frekuensi rendah Biot-Gassmann, V_∞ adalah kecepatan gelombang P pada batas frekuensi tinggi Biot, f adalah frekuensi gelombang, f_c adalah frekuensi refrensi Biot yang menentukan batas frekuensi rendah, bila $f \ll f_c$ dan batas frekuensi tinggi jika $f \gg f_c$ yang diberikan oleh persamaan:

$$f_c = \frac{\Phi \eta}{2\pi\rho_2 k_p} \quad (\text{II.12})$$

dari persamaan (II .9) dan (II .10) dapat diperoleh nilai permeabilitas yang bergantung pada frekuensi dan kecepatan gelombang P sebagai berikut:

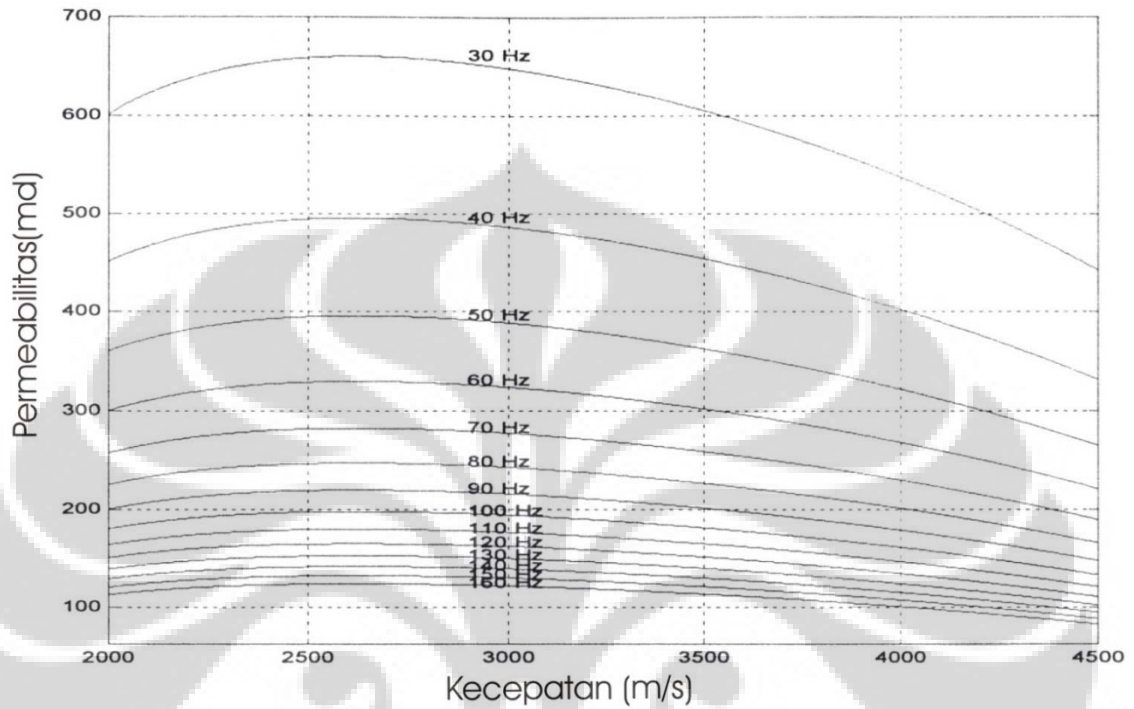
$$k_p = \frac{\Phi \eta}{2\pi\rho f} \frac{1}{\sqrt{\frac{V_\infty^4 - V_p^2 V_\infty^2}{V_p^2 V_o^2 - V_o^4}}} \quad (\text{II.13})$$

2.5 Kecepatan gelombang elastik di dalam batuan sedimen

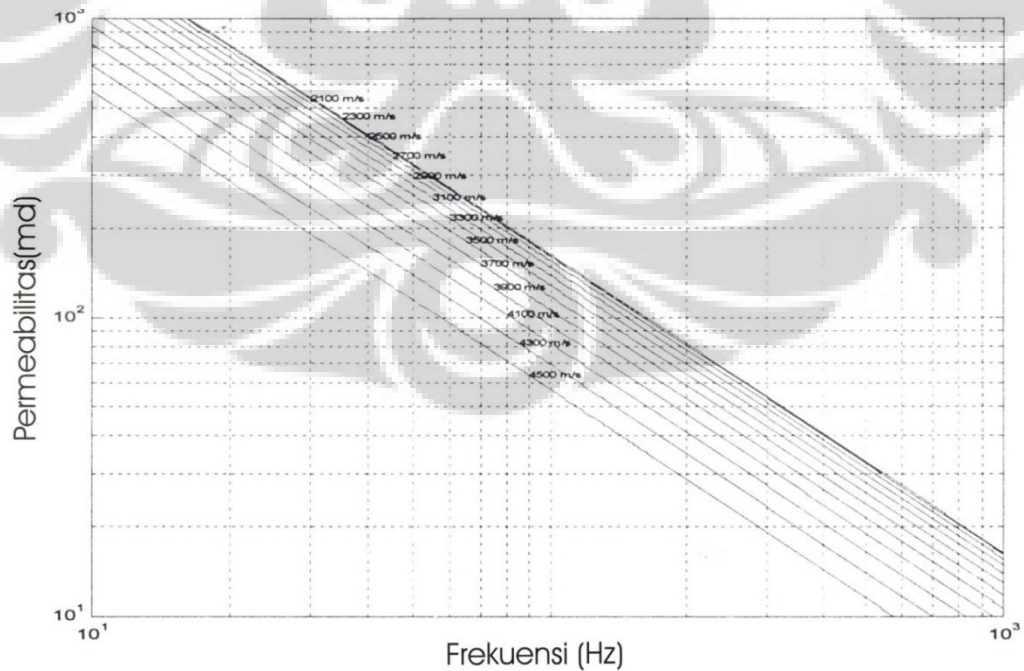
Sismanto (2003), menurunkan hubungan antara kecepatan, permeabilitas, dan frekuensi berdasarkan pendekatan Geertsma dan Smit (1961) untuk batupasir seperti pada gambar 2.1 dan gambar 2.2

Dari gambar tersebut, menyiratkan bahwa untuk frekuensi tinggi ketergantungan permeabilitas pada kecepatan V_p kurang signifikan. Akan tetapi daerah gerak V_p dibatasi oleh kecepatan frekuensi rendah V_o dan kecepatan frekuensi tinggi V_∞ , dalam bentuk kuadratis, sehingga nilai permeabilitas akan naik sebelum kecepatan optimum tercapai dan akan turun kembali setelah kecepatan optimumnya dicapai. Sebaliknya nilai permeabilitas akan sangat bergantung pada frekuensi gelombang secara linier. Nilai permeabilitas akan mengecil pada frekuensi tinggi, dan sebaliknya akan membesar pada frekuensi rendah. Untuk frekuensi rendah sampai menengah mekanisme fisis didominasi oleh efek dispersi aliran global Biot,

sedangkan pada frekuensi tinggi di dominasi oleh efek dispersi *squirt* (lokal).



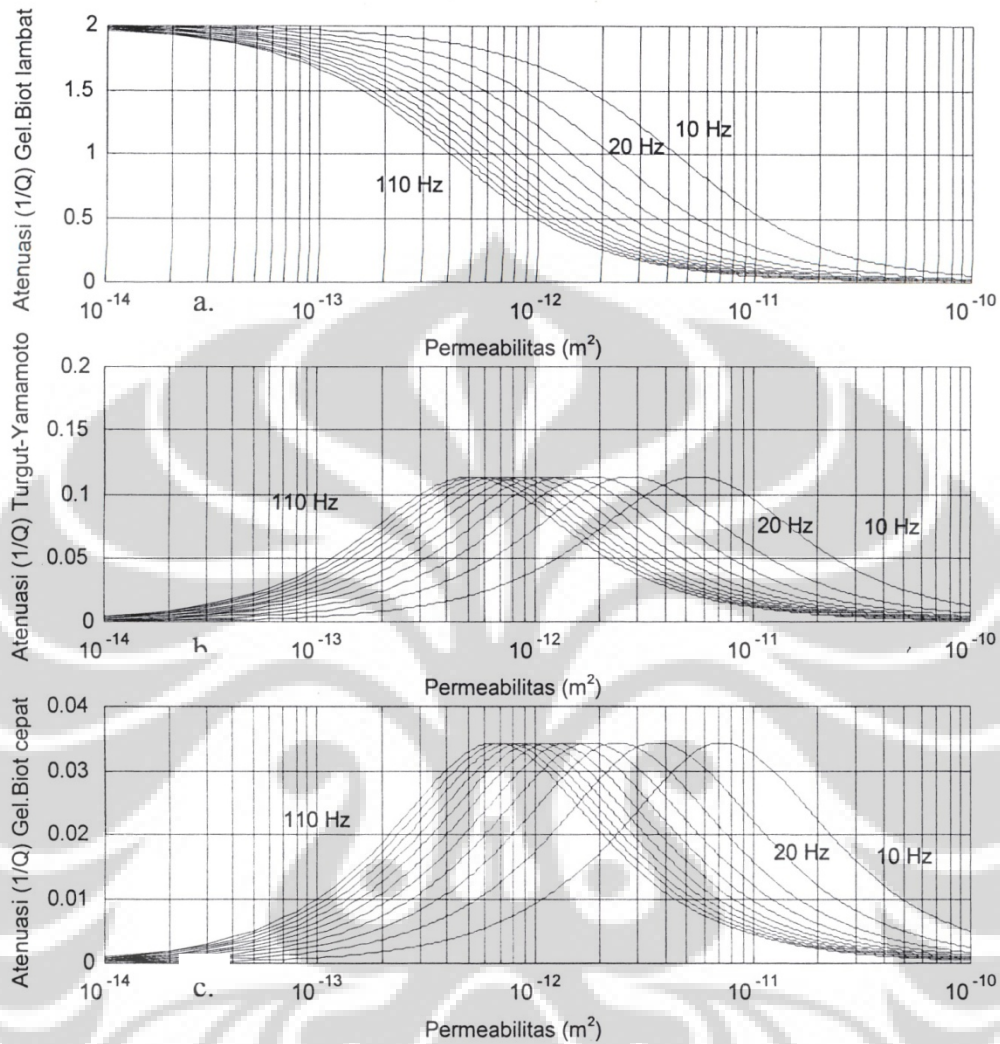
Gambar 2.1 Hubungan permeabilitas batupasir terhadap kecepatan berbagai frekuensi



Gambar 2.2 Hubungan permeabilitas batupasir terhadap frekuensi dengan berbagai

kecepatan





Gambar 2.3 Kurva teoritis hubungan atenuasi terhadap permeabilitas (Turgut-Yamamoto, 1990)

Gambar 2.3 (a) merupakan hubungan antara atenuasi (Q^{-1}) gelombang P lambat dari solusi persamaan Biot terhadap permeabilitas sebagai fungsi frekuensi. Terlihat pada permeabilitas tinggi, atenuasinya semakin lemah dan sebaliknya pada permeabilitas rendah, atenuasi yang terjadi sangat kuat. Sedangkan pada gambar 2.3(b) menunjukkan hubungan antara atenuasi (Q^{-1}) gelombang P yang diperoleh dari persamaan Turgut – Yamamoto terhadap permeabilitas dan pada gambar 2.3(c) memperlihatkan hubungan antara atenuasi (Q^{-1}) gelombang P cepat dari solusi

persamaan Biot terhadap permeabilitas yang juga sebagai fungsi frekuensi.

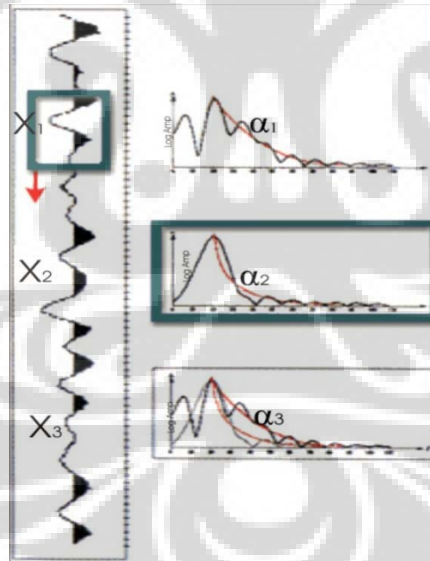
Terlihat disini adanya atenuasi maksimum pada setiap frekuensi dan pada perubahan permeabilitas yang cukup besar, memberikan perubahan yang relatif kecil pada atenuasi. Namun demikian, perubahan atenuasi tersebut masih tetap signifikan untuk digunakan dalam estimasi permeabilitas.



BAB III METODA PENELITIAN

3.1 Garis Besar Metodologi Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian dilukiskan dalam gambar III.1. Tahapan awal adalah menerapkan metoda *Energy Absorption Analysis* (EAA) yang diperkenalkan oleh Michell (1996) untuk mendapatkan harga koefesien atenuasi relatif dengan melakukan analisis peluruhan eksponensial energi seismik dalam domain frekuensi untuk suatu jendela waktu tertentu. Selain mendapat harga koefesien atenuasi relatif, didapatkan juga harga frekuensi dominan yang akan digunakan dalam perhitungan faktor kualitas (Q) relatif dan perhitungan harga permeabilitas relatif.



Gambar 3.1 Windowed FFT Energy Absorption Analysis

Setelah mendapatkan harga koefesien atenuasi relatif dan frekuensi dominan untuk setiap sampling data, dilakukan perhitungan faktor kualitas (Q) relatif menggunakan persamaan II.1 yang menjelaskan hubungan antara koefesien atenuasi dengan faktor kualitas Q (Johnston dan Toksós, 1981).

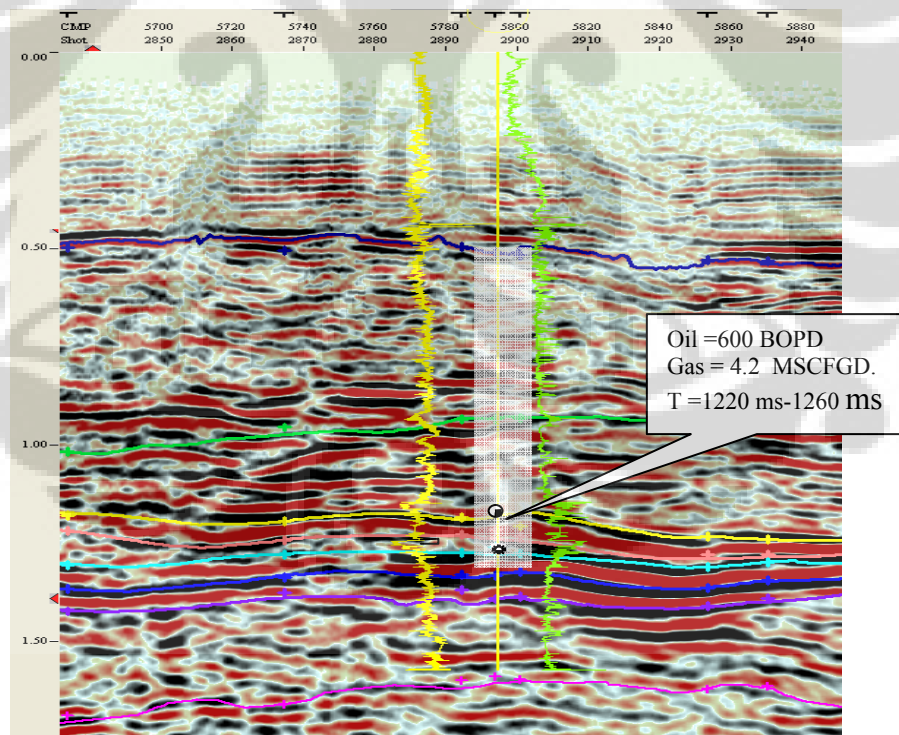
Harga permeabilitas relatif akan diturunkan menggunakan metoda Q (Sismanto,2003) melalui persamaan III.1 dengan menggunakan nilai besaran yang berhubungan langsung dengan parameter gelombang dan parameter-parameter dasar batu pasir (Turgut dan Yamamoto, 1990).

3.2 Tahapan Persiapan Estimasi Permeabilitas Relatif

3.2.1 Data seismik, kecepatan RMS dan kecepatan survey

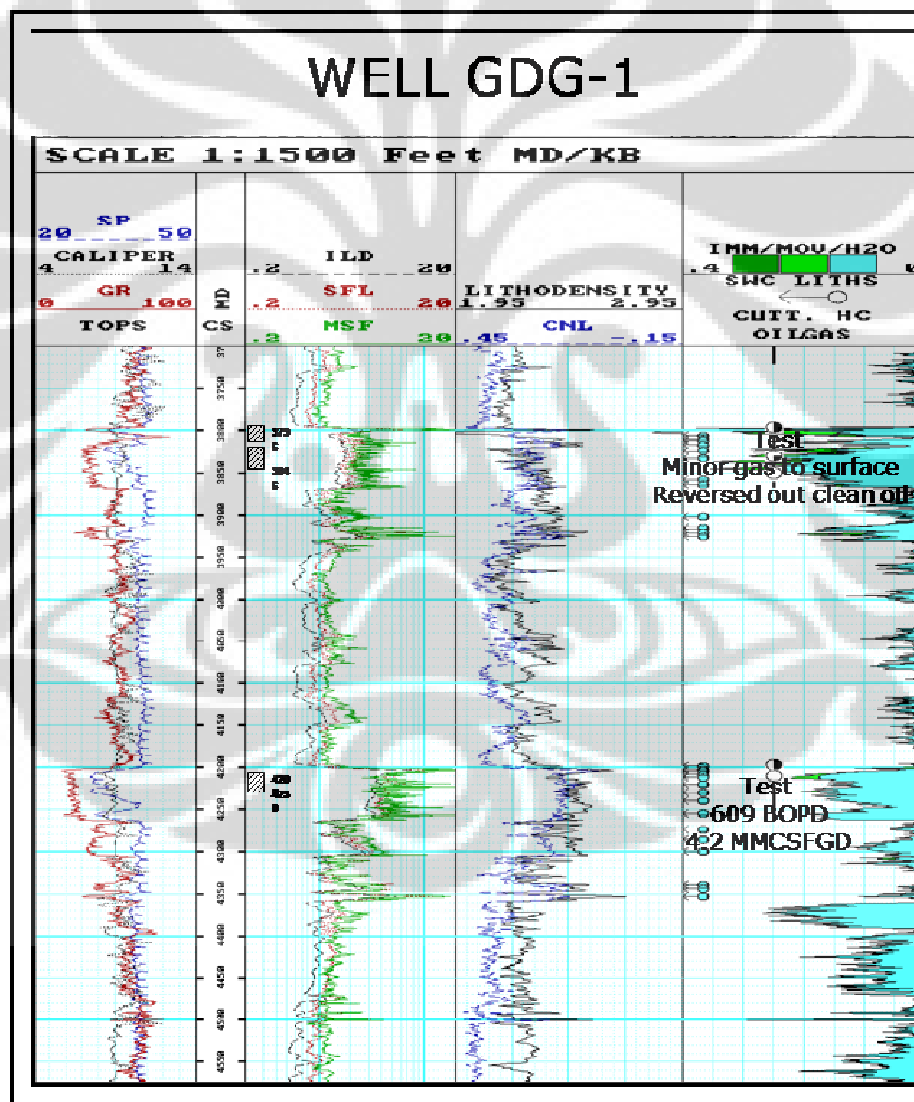
Pada penelitian ini, digunakan data seismik riil 2D hasil Pre-Stack Time Migration (PSTM) sehingga pengujian metoda-metoda ini dapat langsung diaplikasikan dalam dunia industri.

Data seismik dipilih dari suatu area yang produktif pada cekungan Jawa Timur, dan menghasilkan hidrokarbon sebesar 600 BOPD dan gas solution sebesar 4.2 MMSCFGD pada suatu layer dalam formasi Ngrayong seperti pada gambar 3.2



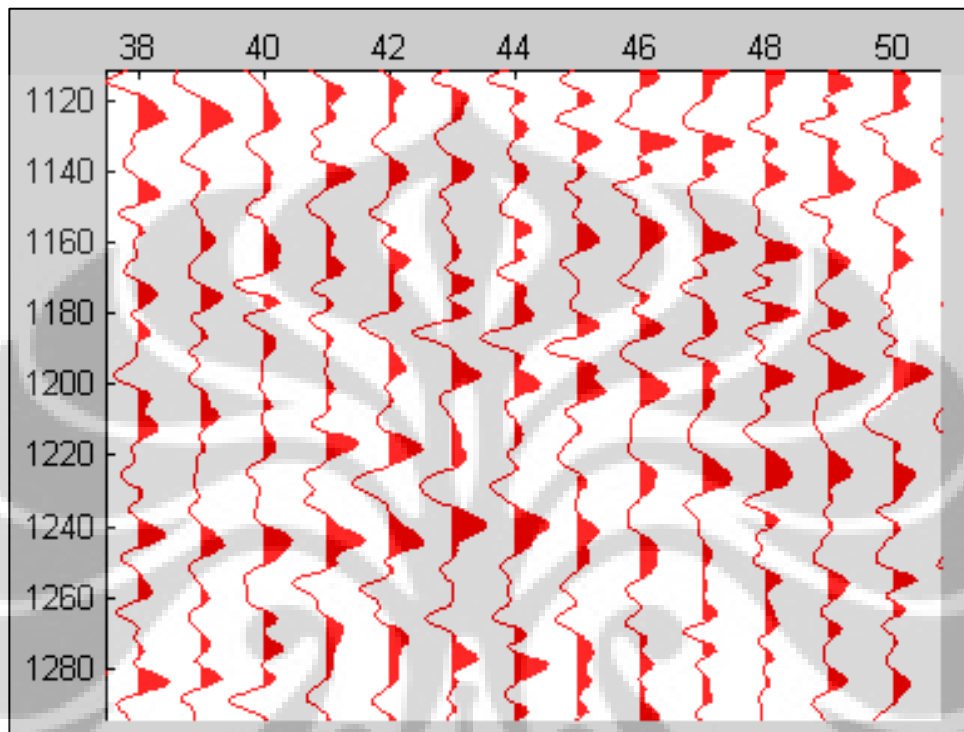
Gambar 3.2 Layer produktif penampang seismik

Posisi sumur “GDG-1” tersebut berada pada posisi trace 45 dan layer produktif berada pada interval antara 1220 ms sampai dengan 1260 ms atau pada kedalaman 4200 ft sampai dengan 4300 ft. Berdasarkan hasil analisa petrofisika (gambar 3.3) terlihat bahwa pada lapisan produktif memiliki harga Gamma Ray (GR) yang rendah dan harga resistivitas yang tinggi. Harga Gamma Ray yang rendah tersebut menunjukkan karakteristik pasiran sedangkan resistivitas yang tinggi menunjukkan karakter hidrokarbon atau fluida lain yang memiliki kemampuan menghantarkan aliran listrik yang lebih baik dibanding air.



Gambar 3.3 Zona target penelitian, interval 4200 ft – 4300 ft

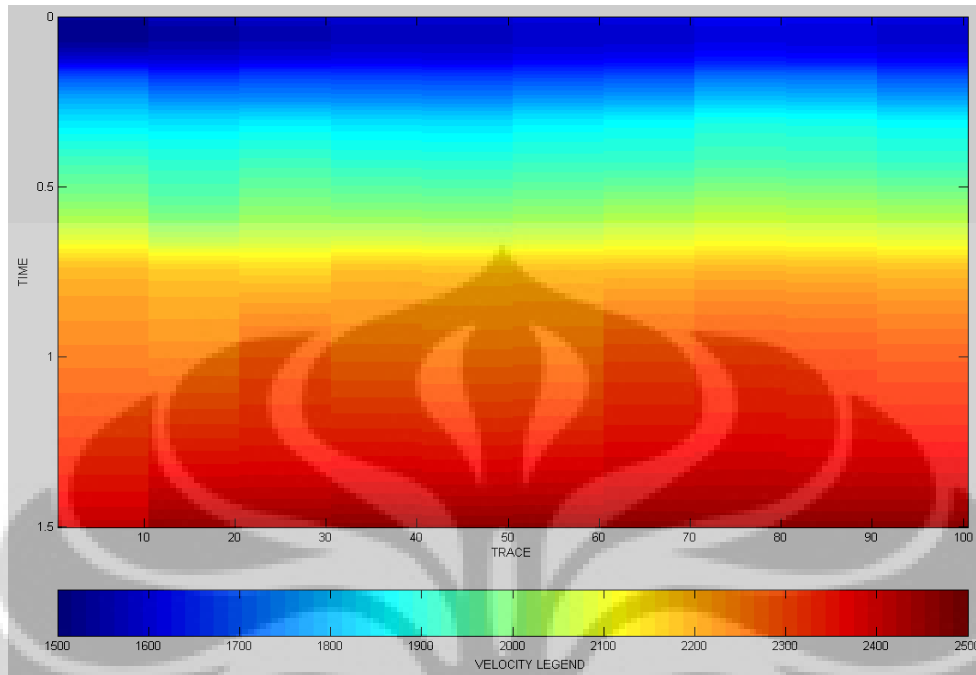
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan aplikasi pemrograman Matlab, dimana data segy (PSTM data) dimasukkan kedalam aplikasi ini menjadi sebuah matrik dan ditampilkan sebagai data *wiggle trace* seismik.



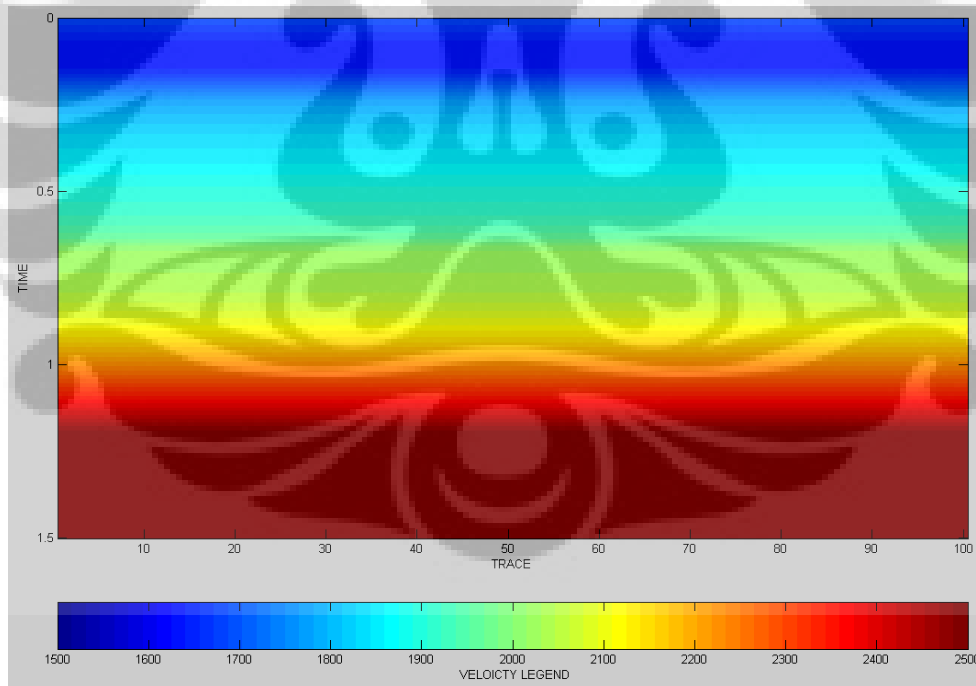
Gambar 3.4 Zona target penelitian, trace 45, interval 1220 ms – 1260 ms

Adapun parameter lainnya yang digunakan dalam perhitungan permeabilitas relatif adalah kecepatan RMS (*Root Mean Square*) berupa kecepatan gelombang seismik yang diasumsikan sebagai kecepatan pada frekuensi rendah f_0 . Asumsi ini memperlihatkan proses perekaman data seismik dimana gelombang seismik memiliki kisaran frekuensi antara 20 Hz sampai dengan 100 Hz, tergantung pada *cut off* pada peralatan perekaman data. Selain pengaruh peralatan perekaman, medium bumi akan melakukan *filter* terhadap frekuensi-frekuensi tertentu sehingga frekuensi yang dibawa oleh gelombang seismik akan bersifat *bandlimited* atau memiliki rentang frekuensi yang terbatas dan rendah.

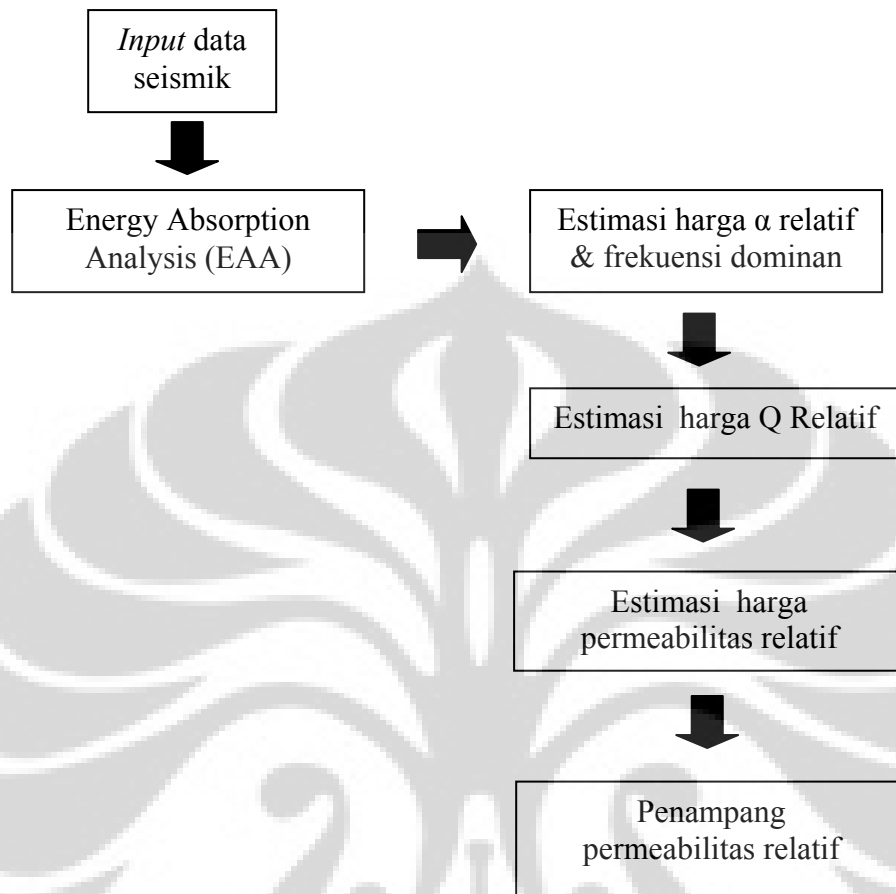
Sedangkan informasi kecepatan hasil survey *sonic* (well logging) diasumsikan sebagai kecepatan gelombang seismik pada frekuensi tinggi f_∞ karena direkam dengan peralatan yang lebih sensitif dibandingkan geophone seismik.



Gambar 3.5 Penampang kecepatan RMS



Gambar 3.5 Penampang kecepatan survey



Gambar 3.5 Alur kerja estimasi permeabilitas relatif

Alur kerja penelitian secara ringkas ditampilkan oleh gambar 3.5. Seismik yang telah dipersiapkan di *load* menggunakan program *Energy Absorption Analysis* (EAA) untuk mendapatkan harga α relatif & frekuensi dominan pada setiap titik sampel pada setiap *time window*. Dari harga tersebut didapatkan harga Q relatif dengan mengambil harga mutlak dari nilai selisih antara dua buah data yang saling berurutan, lalu dengan hasil penurunan atenuasi relatif dan harga frekuensi dominan untuk setiap sampel, dilakukan estimasi harga permeabilitas relatifnya dan ditampilkan dalam penampang permeabilitas relatif sebagai hasil akhir.

3.2.2 Penentuan parameter dasar

Sebelum persamaan perhitungan digunakan untuk melakukan estimasi parameter yang diinginkan, diperlukan informasi sifat-sifat fisis dasar dari sedimen pada daerah penelitian. Berdasarkan informasi geologi regional daerah penelitian yang merupakan suatu endapan klastik batupasir dalam suatu lingkungan pengendapan laut, untuk keperluan praktis maka penulis pada penelitian ini menggunakan informasi parameter dasar yang digunakan oleh Turgut dan Yamamoto (1990) sebagai suatu parameter fisis sedimen laut (batuan yang tak termampatkan). Parameter tersebut disajikan pada tabel III.1.

Tabel III.1 Parameter fisis dasar Batupasir [Turqut dan Yamamoto, 1990]

Parameter	Harga	Satuan
Viskositas Fluida (η)	$1,0 \times 10^{-6}$	m^2/s
Modulus Bulk fluida (K_f)	2.3×10^9	N/m^2
Modulus Bulk Butiran (K_r)	3.6×10^{10}	N/m^2
Densitas Fluida (ρ_f)	$1,0 \times 10^3$	kg/m^3
Densitas Matrik (ρ_m)	$2,65 \times 10^3$	kg/m^3
Masa semu (ρ)	1.25	kg/m^3

3.2.3 Energy Absorption Analysis

Metoda *Energy Absorption Analysis* (EAA) adalah metoda yang digunakan untuk menganalisa peluruhan eksponensial energi seismik dalam domain frekuensi (Mitchell, 1996).

Energy Absorption Analysis melakukan analisa dalam setiap interval dalam *time window* tertentu yang dipilih sepanjang *trace* seismik dan menghitung spektrum frekuensi setiap *time window* tersebut menggunakan analisa transformasi fourier, sehingga akan didapat sebuah spektrum frekuensi untuk setiap *time window*. Lebar *time window* tersebut didesain sedemikian rupa hingga cukup membawa

informasi perubahan magnitudo dalam domain frekuensi, antara 40 ms sampai 70 ms sedangkan interval antar *time window* dipilih sebesar sampling interval dari data sekitar sehingga dapat mencuplik setiap interval data.

Setelah mendapatkan nilai spektrum frekuensi untuk setiap *time window*, dilakukan teknik pencocokan fungsi (*curve fitting*) dari kurva eksponensial. Fungsi ini akan memiliki bentuk fungsi $\exp(-\alpha\omega)$ dimana α adalah attenuasi dan ω adalah frekuensi. Harga α dihitung pada pusat setiap *time window* untuk mewakili harga gradien peluruhan frekuensi didalam *time window* yang bersangkutan. Untuk mendapatkan harga atenuasi relatif maka secara matematis, dilakukan pengurangan harga α titik referensi dengan harga α hasil analisa dari *time window* dibawahnya secara berurutan. Proses ini dilakukan secara berurutan sesuai dengan *time sampling* (Δt) pada keseluruhan *trace* seismik.

Pada metoda ini, diasumsikan bahwa frekuensi yang mengalami atenuasi adalah frekuensi yang memiliki harga lebih besar dari dominan, sehingga frekuensi yang bernilai lebih kecil dari frekuensi dominan akan diabaikan. Keadaan ini dianggap sebagai karekteristik dari medium yang hanya akan menyerap energi dari frekuensi tertentu (Mitchell, 1996).

Harga koefisien atenuasi relatif yang diperoleh berupa sebuah matrik yang kemudian dapat ditampilkan sebagai penampang koefisien atenuasi relatif.

Tabel III.2 Parameter Energy Absorption Analysis

Parameter	Harga	Satuan
Sampling Interval (dt)	2	ms
Time Window FFT	45	ms
Window Step	4	ms
Frekuensi Nyquist (F_{nyq})	250	hz

3.2.4 Estimasi Faktor Kualitas Relatif

Harga koefisien atenuasi (α) relatif yang diperoleh dengan menggunakan metoda *Energy Absorption Analysis* yang merupakan suatu gambaran penyerapan energi gelombang untuk setiap interval waktu atau gambaran besarnya peredaman yang dialami oleh gelombang seismik.

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa faktor kualitas Q adalah suatu besaran yang mempunyai harga berbanding terbalik dengan redaman gelombang seismik. Sehingga dengan diperolehnya harga atenuasi relatif melalui metoda *Energy Absorption Analysis* maka dengan menggunakan persamaan II.1 maka dapat diturunkan harga Q relatif.

Selain menghasilkan harga atenuasi relatif, metoda *Energy absorption Analysis* juga dapat menghasilkan estimasi harga frekuensi dominan melalui analisa fourier transform pada setiap interval jendela waktu yang dianalisa. Harga frekuensi dominan ini merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mendapatkan harga faktor kualitas (Q) untuk setiap nilai koefisien atenuasi dan frekuensi dominan pada posisi yang sama.

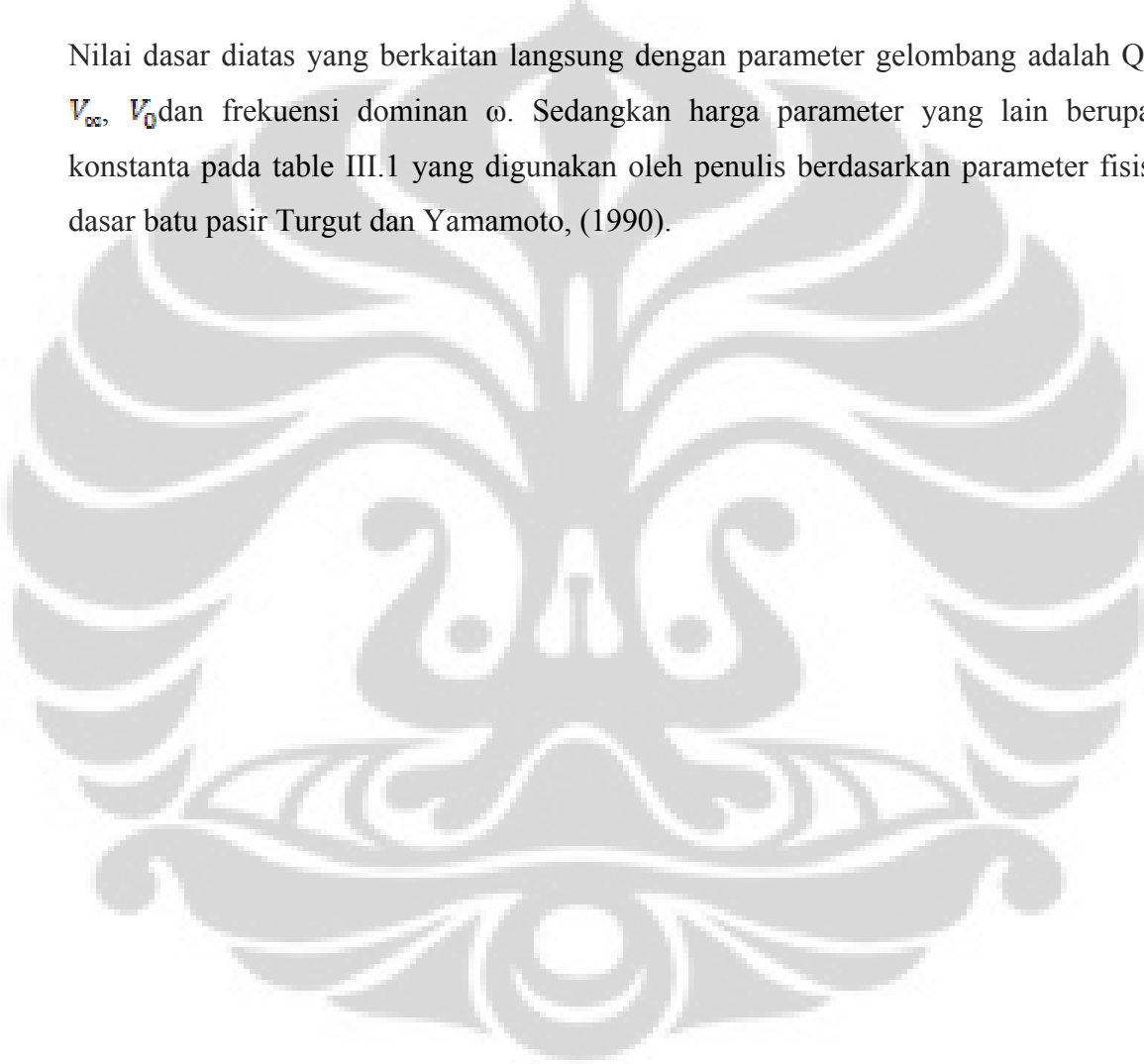
3.2.5 Perhitungan Permeabilitas Relatif

Perhitungan harga permeabilitas relatif diturunkan menggunakan metoda Q (Sismanto, 2003) yang melakukan estimasi dengan menggunakan dua buah sinyal seismik yang berbeda posisi untuk dihitung nilai faktor kualitasnya dan frekuensi dominan maksimum sinyal yang teredam.

Persamaan metoda Q (Sismanto, 2003) dituliskan sebagai :

$$\frac{\dot{\eta}}{\omega k p} = \frac{Q \left(\frac{V_{\infty}^2}{V_0^2} - 1 \right) \pm \sqrt{\left(\frac{V_{\infty}^2}{V_0^2} - 1 \right)^2 - 4 \frac{V_{\infty}^2}{V_0^2}}}{\frac{2\rho}{(\rho m - \rho_f^2)}}$$

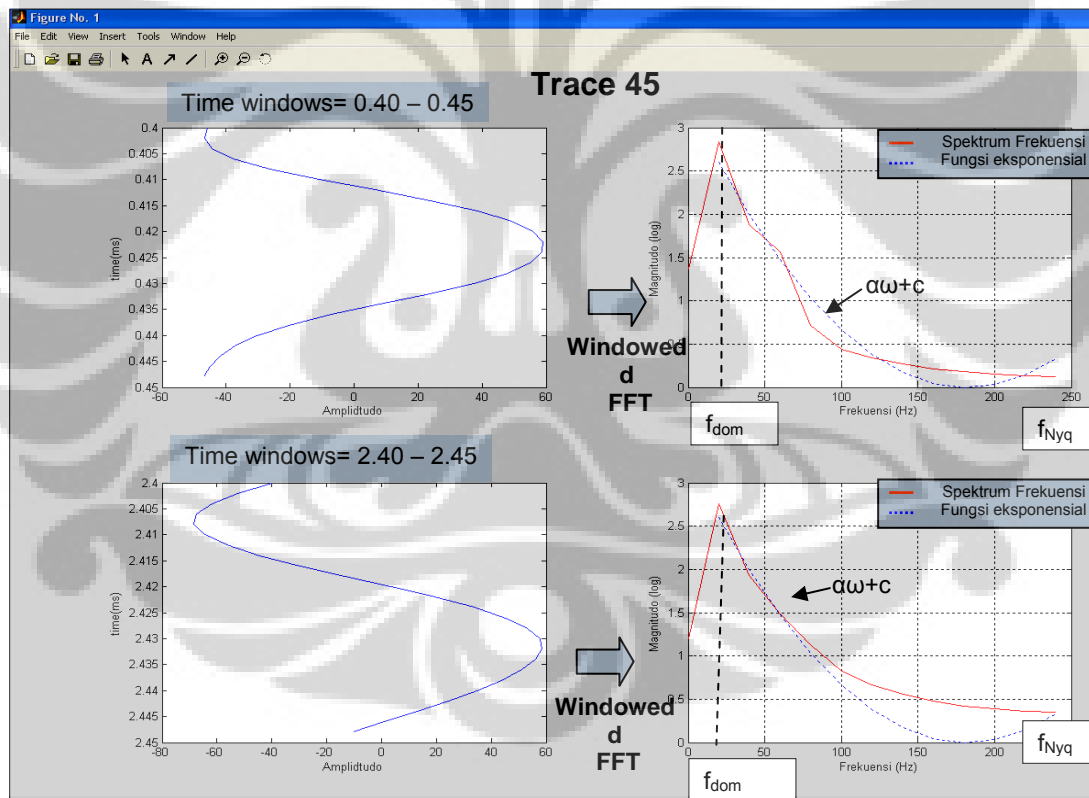
Nilai dasar diatas yang berkaitan langsung dengan parameter gelombang adalah Q, V_{∞} , V_0 dan frekuensi dominan ω . Sedangkan harga parameter yang lain berupa konstanta pada table III.1 yang digunakan oleh penulis berdasarkan parameter fisis dasar batu pasir Turgut dan Yamamoto, (1990).



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Estimasi Koefisien Atenuasi Relatif

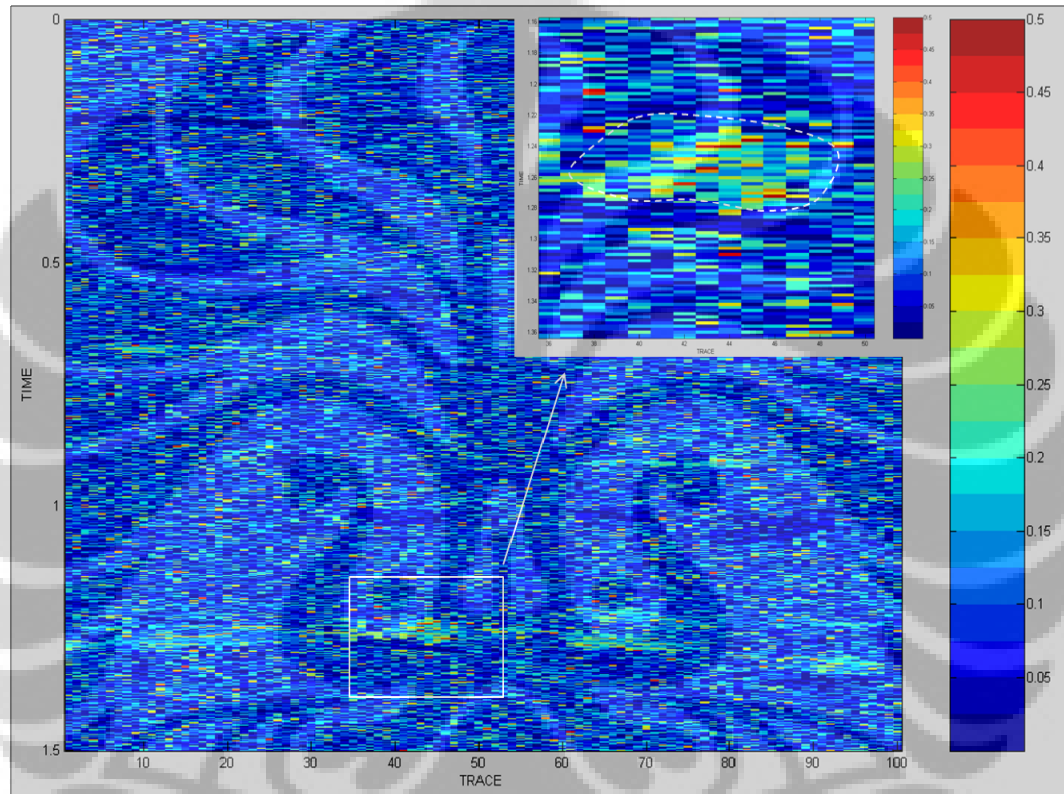
Harga koefisien atenuasi (α) yang diperoleh melalui metoda *Energy Absorption Analysis* merupakan hasil dari pencocokan kurva (*curve fitting*) terhadap spektrum frekuensi setiap jendela sampling data yang dianalisa (*Windowed FFT*). Kurva tersebut memiliki bentuk $\log \alpha\omega + C$ dimana ω adalah frekuensi sudut ($2\omega\pi$) dan C adalah nilai konstanta. Hasil dari estimasi α untuk trace 45 pada *time window* 0.40 – 0.45 ms dan pada 2.40 – 2.45 ms ditampilkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Windowed Fast Fourier Transform

Analisa spektrum frekuensi ini dilakukan pada $time = 0$ ms hingga $t = 1500$ ms dengan *sampling interval* 2 ms sehingga menghasilkan total sampel sebanyak 750 sampel.

Untuk mendapatkan harga atenuasi relatif antara sampel data yang diasumsikan mewakili karakter atenuasi lapisan bumi. Maka untuk mendapatkan nilai tersebut, dilakukan proses pengurangan setiap sampel dengan data dibawahnya, lalu diambil harga mutlak untuk masing-masing data tersebut. Nilai atenuasi relatif tersebut ditampilkan sebagai penampang atenuasi relatif pada gambar 4.2

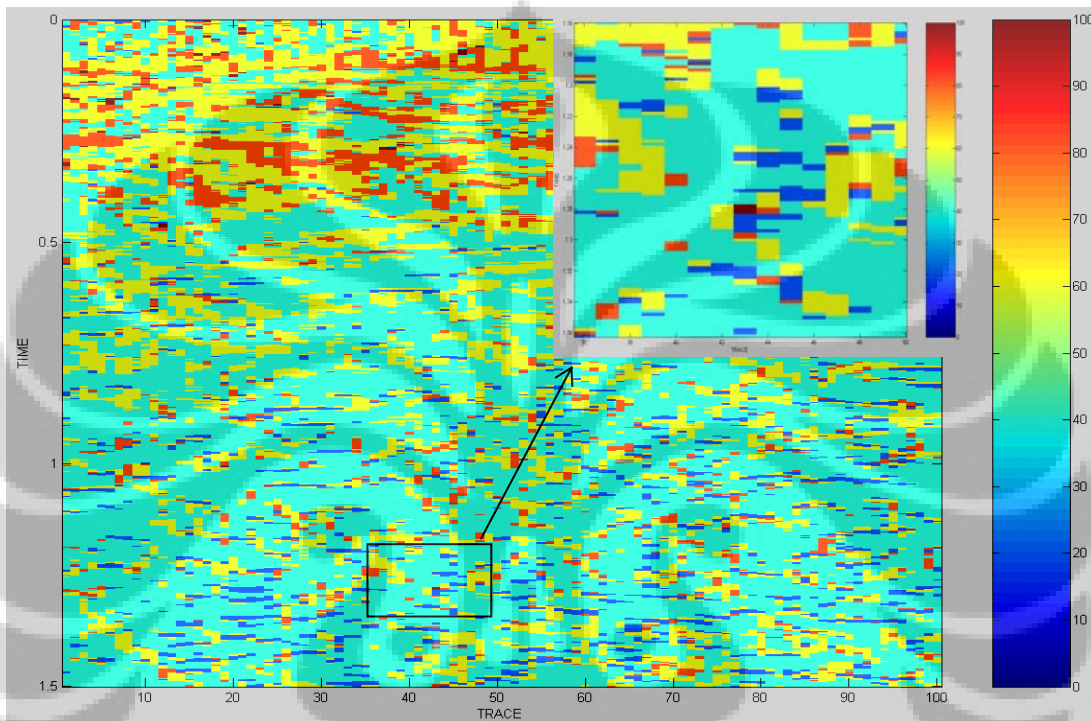


Gambar 4.2 Penampang atenuasi relatif zona produktif

Penampang diatas (gambar 4.2) menunjukkan hasil perhitungan menggunakan metoda *Energy Absorption Analysis* pada zona produktif, yang terletak diantara *trace* 36 sampai *trace* 50, antara interval waktu antara 1.220 ms sampai 1.260 ms.

Berdasarkan penampang atenuasi relatif tersebut, terlihat adanya perbedaan pada zona penelitian yang ditunjukkan oleh tampilan indek warna yang lebih terang, yang diinterpretasikan sebagai zona dengan harga atenuasi yang lebih tinggi dibandingkan zona sekitarnya.

Selain mendapatkan nilai koefisien atenuasi relatif, melalui analisa *windowed FFT* tersebut, didapatkan harga frekuensi dominan pada setiap sampel yang akan kita gunakan dalam proses estimasi permeabilitas relatif.



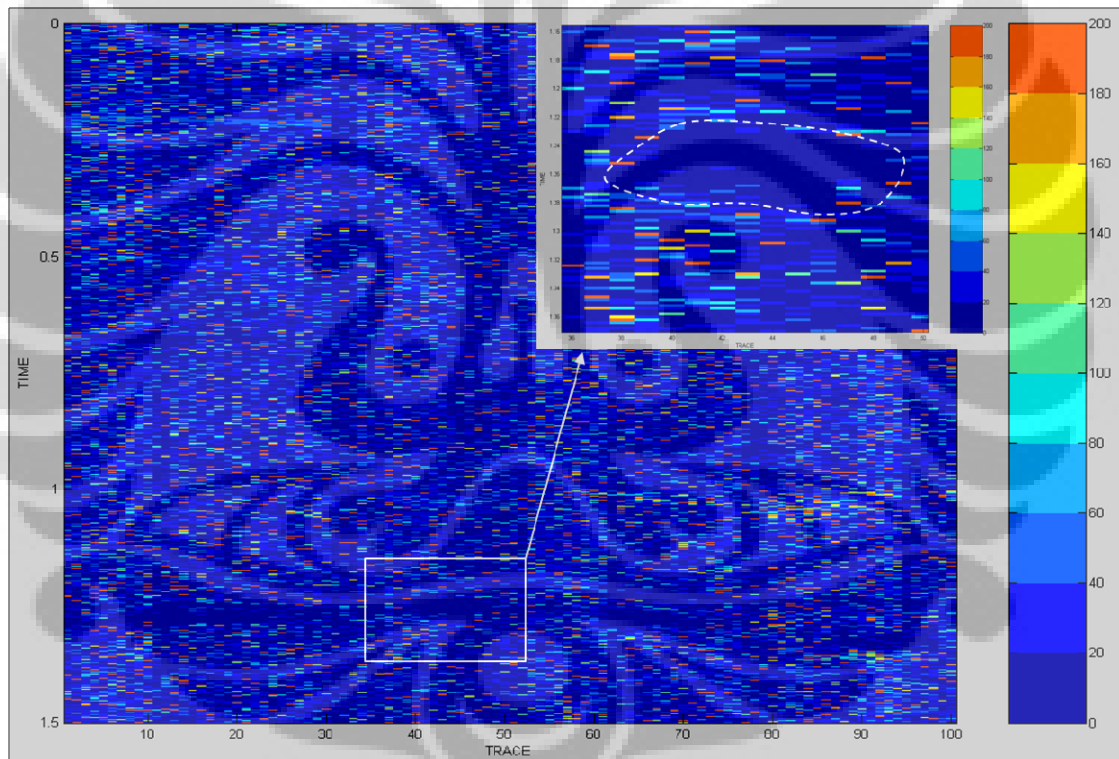
Gambar 4.3 Penampang frekuensi dominan

Secara umum, dari penampang frekuensi dominan yang diperoleh pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa sebaran frekuensi tinggi berada pada daerah dangkal dan semakin dalam terlihat harga frekuensi dominan memiliki harga semakin rendah. Hal ini dapat dipahami sebagai adanya penyerapan harga-harga frekuensi oleh lapisan bumi yang bertindak sebagai sebuah filter terhadap harga-harga frekuensi tertentu tersebut.

4.2 Estimasi Faktor Kualitas (Q) Relatif

Faktor Q atau faktor disipasi dapat diturunkan melalui persamaan II.1 untuk setiap sampel koefisien atenuasi dan frekuensi dominan yang diperoleh dari hasil *Energy Absorption Analysis*. Sedangkan untuk parameter kecepatan digunakan harga kecepatan RMS (*Root Mean Square*).

Pada penampang Q relatif (gambar 4.4) terlihat bahwa pada zona produktif yang menjadi target penelitian, memiliki suatu zona anomali Q dengan harga lebih rendah dari harga Q disekitarnya. Hal ini berkorelasi dengan zona yang memiliki atenuasi tinggi pada penampang atenuasi relatif.

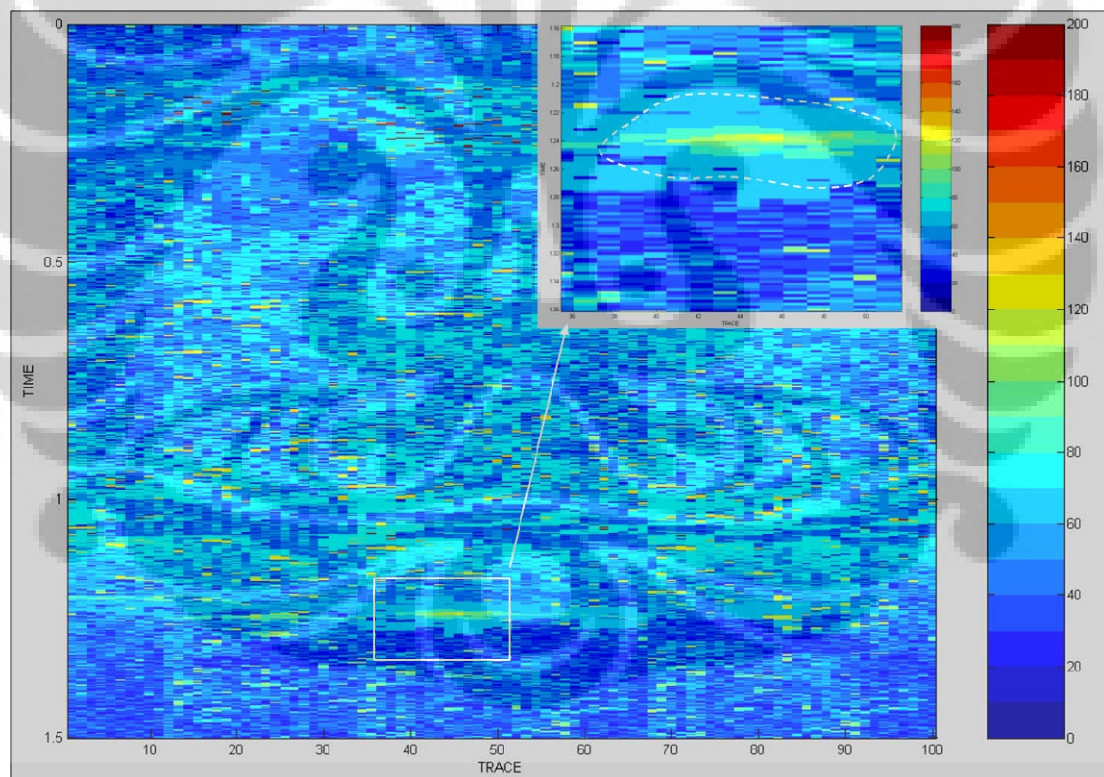


Gambar 4.4 Penampang Q relatif

4.3 Estimasi Permeabilitas Relatif

Hasil perhitungan permeabilitas relatif menggunakan persamaan II.1 merupakan salah satu masukan dalam perhitungan permeabilitas relatif menggunakan metoda Q (Sismanto, 2003) melalui persamaan III.1. Parameter dasar yang digunakan menggunakan parameter fisis dasar batupasir (Turqut dan Yamamoto, 1990) pada tabel III.1.

Untuk harga kecepatan gelombang seismik pada frekuensi rendah f_0 , digunakan data kecepatan RMS sebagai hasil analisa kecepatan pada pekerjaan pengolahan data seismik (gambar 3.3) sedangkan harga kecepatan gelombang seismik pada frekuensi tinggi digunakan kecepatan survey hasil *logging* (gambar 3.4).

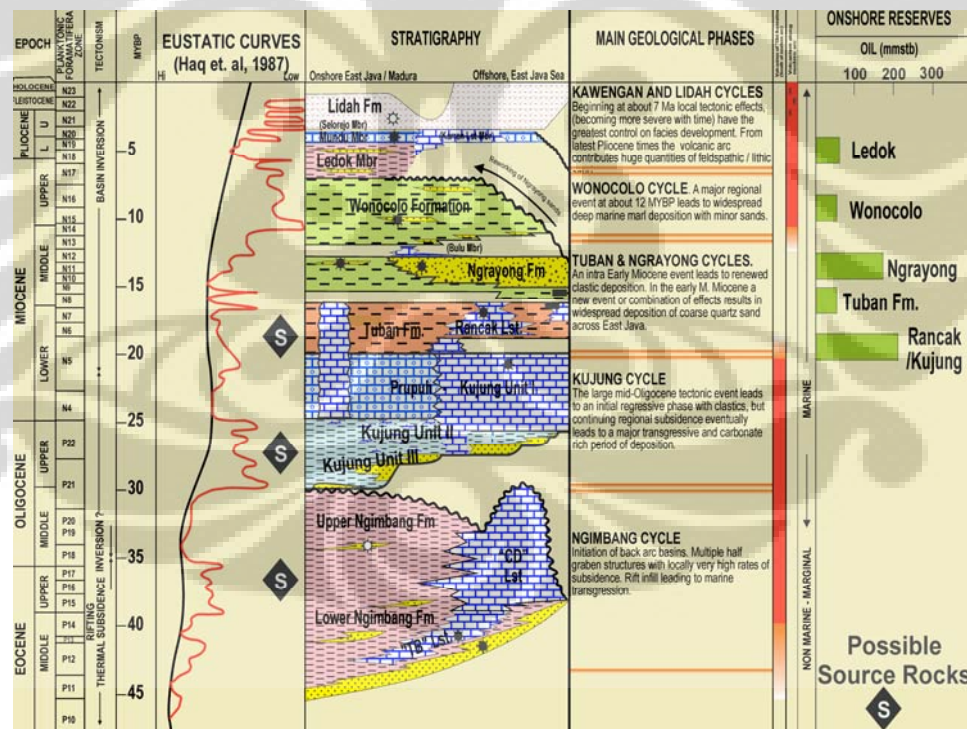


Gambar 4.5 Penampang permeabilitas relatif

Hasil perhitungan permeabilitas relatif menggunakan metoda Q ditampilkan pada gambar 4.5 dimana terlihat adanya daerah anomali pada daerah target berupa harga permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan harga permeabilitas dan ditandai dengan indeks warna yang lebih cerah dibanding daerah disekitarnya

Harga permeabilitas reatif tersebut secara umum memiliki harga yang lebih tinggi. Jika dihubungkan dengan penampang atenuasi dan faktor kualitas (Q) hasil perhitungann sebelumnya, terlihat pada zona target memiliki anomali harga atenuasi yang relatif tinggi dan harga faktor kualitas (Q) yang lebih rendah secara relatif dibandingkan dengan daerah sekitarnya.

Harga koefisien atenuasi yang relatif tinggi, diasosiasikan sebagai zona dimana energi gelombang seismik mengalami penyerapan energi yang tinggi dan harga faktor kualitas yang rendah.



Gambar 4.6 Stratigrafi regional daerah penelitian

Analisa secara kualitatif dapat dilakukan dengan memperhatikan faktor geologi lingkungan pengendapan zona penelitian. Berdasarkan informasi pengeboran dan

stratigrafi regional, target penelitian berada pada formasi Ngrayong berumur *middle miocene* yang merupakan sisipan batupasir dan batulempung endapan laut dangkal. Batupasir yang memiliki porositas yang lebih baik dan lebih permeabel dibandingkan dengan batulempung memberikan harga permeabilitas yang bervariasi dan berselang diantaranya sesuai dengan pelapisan masing-masing batuan tersebut.

Dengan demikian didapatkan hubungan arti fisis antara anomali permeabilitas yang tinggi pada daerah penelitian dengan kondisi geologi dan daerah reservoir penghasil hidrokarbon.



BAB V

KESIMPULAN

- Melalui metoda *Energy Absorption Analysis* (Mithell, 1996) gelombang seismik, dapat diturunkan harga atenuasi (relatif) medium yang dilalui oleh gelombang seismik.
- Harga atenuasi diperoleh menggunakan metoda *Energy Absorption analysis* berbanding terbalik dengan dengan hasil estimasi faktor kualitas (Q) relatif, dimana pada zona penelitian, memiliki harga atenuasi relatif tinggi dan harga faktor kualitas (Q) relatif yang rendah. Sedangkan dari atenuasi relatif yang tinggi diperoleh harga permeabilitas relatif yang tinggi
- Estimasi permeabilitas relatif yang dilakukan melalui metoda Q (Sismato, 2003) dapat memberikan gambaran sebaran permeabilitas medium yang masih dapat dikorelasikan dengan kondisi zona penelitian yang dianggap sebagai sebuah reservoir hidrokarbon.
- Dari hasil estimasi permeabilitas relatif berupa penampang permeabilitas diharapkan dapat memberikan masukan tentang distribusi dan karakter reservoir dan medium bawah permukaan untuk keperluan eksplorasi hidrokarbon dan industri MIGAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, N., Dvorkin, J. and Nur, A.,(1993), Relating p-wave attenuation to permeability, *Geophysics*, **5**, No. 1, 20-29.
- Biot, M., (1956a), Theory of elastic wave in a fluid-saturated porous solid, Part I: Low-frequency range, *J. Acoust. Soc. Am.*, **28**, 168-178.
- Biot, M., (1956b), Theory of elastic wave in a fluid-saturated porous solid, Part I: Higher-frequency range, *J. Acoust. Soc. Am.*, **28**, 179-191.
- Castagna, J.P., M.L. Batzle, and R.L. Eastwood, (1985), Relationship between compresional-wave and share-wave velocities in clastic silicate rocks, *Geophysics*, **50**, 571-581.
- Dvorkin, J., and A. Nur, (1993), Dynamic Poroelasticity: A unified model with squirt and the biot mechanisms, *Geophysics*, **58**, 524-533.
- Dvorkin, J.,R. Nolen-Hoeksema, and A. Nur, (1994), The Squirt-flow mechanism macroscopic description, *Geophysics*, **59**, 428-438.
- Gassman, F., (1951) Elastic wave through a packing of spheres, *Geophysics*, **16**, 673-685.
- Gardner, G.H.F, L.W. Gardner, and A.R. Gregory, (1974), Formation velocity and density. The diagnostic basic for stratigraphic traps, *Geophysics*, **39**,770-780.
- Geertsma, I., and.C. Smith, (1961), Some aspect of elastic wave propagation in fluid saturated porous solids, *Geophysics*, **26**, 169-181.
- Johnston D. H., and M.N. Toksös, (1981), Seismic wave attenuation, SEG *Geophysics* reprint series No. 2.
- Kjarttansson, E., (1979), Constant Q-wave propagation, and attenatuation, *J. Geophysics. Res*, **84**, 4737-3738.
- Klimentos, T., C. McCann, (1990), Relationships among compresional wave attenuation, porosity, clay content, and permeability sandstone, *Geophysics*, **55**, 998-1014.
-

- Mavko, G., (2000), Introduction to Rock Physics, Stanford Rock Physics Laboratory.
- Mavko G., and A. Nur, (1975), Melt squirt in the astenosfer, Journal Geophysics., **80**, 1444-1448.
- Mavko G., and D. Jizba, (1991), Estimating grain-scale fluid effect on velocity dispersion in rocks, Geophysics, **56**, 1940 – 1949.
- Mavko G., and T. Mukerji, (1998), Bound on low-frequency seismic velocities in partially saturated rocks, Geophysics, **63**, 918-924.
- Mitchell, J. T., Derzhi, N., Lichman, E. and Lanning, E. N., (1996), Energy absorption analysis: A case study, 66th Ann. Internat. Mtg: Society. of Exploration Geophysics., 1785-1788.
- Munadi, Suprayitno., (1987), Attenuation Analysis for VSP Data, Lemigas Scientific Contribution, 2/87, 73-84.
- Munadi, Suprayitno., (2000), Aspek fisis seismologi eksplorasi, 92-121.
- Munadi, Suprayitno., (2006), Possibility to estimate bulk permeability from seismic data, Lemigas Scientific Contribution, 29/06, 44-48.
- Schön, J.H., (1998), Physical properties of rock, fundamental and principles of petrophysics, Handbook of geophysical exploration, Section 1, Seismic exploration, Pergamon, Netherland.
- Sismanto,(2003), Estimasi permeabilitas reservoir batu pasir tebal dan homogen dengan menggunakan analisis atenuasi inleistik data seismik, disertasi doktor, Teknik Geofisika ITB, Bandung.
- Stoll, R.D., (1974), Acoustic Waves in saturated sediments. Physics of Sound in marine sediment, Plenum Press, 19-39.
- Tosaya, C., and A. Nur, (1982), Effects of diagenesis and clays on compresional velocities in rocks, Geophysical Research Letters, **9**, 5-8.
- Turgut, A., and T. Yamamoto, (1988) Syntethic seismogram for marine sediments and determination of porosity and permeability, Geophysics, **53**, 2056-2067.

- Turgut, A., T. Yamamoto, (1990), Measurement of acoustic wave velocities and attenuation in marine sediments, *J. Acoust. Soc. Am.*, 87, 2376-2383.

