

1. ABSTRAK PENELITIAN

Aplikasi metode estimasi pada inversi seismik yang digunakan dalam studi eksplorasi hidrokarbon sejauh ini masih menggunakan konsep estimasi konvensional, seperti metode *inverse distance*, *nearest-neighbour* dan *triangulation*. Beberapa metode tersebut hanya mempertimbangkan parameter jarak tanpa memperhatikan faktor sebaran, korelasi antar data serta *statistical nature* dari data. Estimasi menggunakan metode Geostatistik merupakan suatu metode inversi yang mempertimbangkan parameter-parameter statistik dari data observasi, seperti sebaran, korelasi antar data, serta probabilitasnya secara statistik. Pada Inversi Geostatistik, *forward modelling* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation* (SGS). Dengan SGS, simulasi pemodelan dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter statistik dari data observasi. Pada penelitian ini, SGS dilakukan dengan menggunakan metode estimasi geostatistik *simple kriging* dan *ordinary kriging*.

2. TUJUAN KHUSUS

Penelitian ini bertujuan mendesain metode estimasi impedansi akustik dari data seismik secara geostatistik simulasi gaussian sequensial (SGS). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan sumbangan pada perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang metode estimasi dan simulasi yang sangat berguna untuk eksplorasi, karakterisasi reservoir dan peningkatan perolehan. Hasil penelitian juga diharapkan dapat digunakan sebagai pedoman teknis untuk karakterisasi reservoir dan eksplorasi oleh sektor industri hulu pertambangan dan migas.

3. PENTINGNYA PENELITIAN

Impedansi Akustik (IA) adalah parameter sifat fisis batuan penting yang dapat menghubungkan berbagai data pengukuran dari bidang ilmu yang berbeda. Berdasarkan nilai impedansi akustik lapisan bawah permukaan dimungkinkan untuk mengartikan litologi terutama untuk memperoleh parameter reservoir seperti porositas dan permeabilitas. Parameter-parameter reservoir tersebut digunakan sebagai data masukan dalam membuat model reservoir, estimasi volume cadangan potensi dan memutuskan dalam pengembangan lapangan.

Dengan alasan tersebut diatas, penelitian ini mencoba mendesain suatu metode estimasi dan simulasi untuk estimasi perlapisan IA bawah permukaan bumi menggunakan metode

geostatistik Simulasi Gaussian Sequensial. Metode yang diusulkan pada penelitian ini bermanfaat dan mempunyai pengaruh yang signifikan jika daerah prospek yang disurvei seismik faktor sebaran datanya diperhitungkan.

4. LINGKUP PENELITIAN

Lingkup dan batas penelitian ini berupa kajian perambatan gelombang seismik dalam bahan media dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Kajian teoritis tersebut direalisasikan ke dalam perangkat lunak yang dapat menggambarkan pengaruh efek medium yang dilewati gelombang seismik. Akhirnya berdasarkan pengembangan metode inversi seismik yang dilakukan diperoleh data perlapisan IA dari bawah permukaan yang lebih menggambarkan sifat fisis perlapisan batuan yang bersangkutan. Metoda yang disusun diuji dengan menggunakan data sintetik, selanjutnya dievaluasi menggunakan data lapangan sebagai aplikasi metoda. Hasil evaluasi tersebut bertujuan untuk melihat konsep metoda yang diajukan layak dipakai di dunia industri, walaupun tentu saja dengan segala keterbatasannya.

Aplikasi metode estimasi pada inversi seismik yang digunakan dalam studi eksplorasi hidrokarbon sejauh ini masih menggunakan konsep estimasi konvensional, seperti metode *inverse distance*, *nearest-neighbour* dan *triangulation*. Beberapa metode tersebut hanya mempertimbangkan parameter jarak tanpa memperhatikan faktor sebaran, korelasi antar data serta *statistical nature* dari data. Estimasi menggunakan metode Geostatistik merupakan suatu metode inversi yang mempertimbangkan parameter-parameter statistik dari data observasi, seperti sebaran, korelasi antar data, serta probabilitasnya secara statistik. Pada Inversi Geostatistik, *forward modelling* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation* (SGS). Dengan SGS, simulasi pemodelan dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter

statistik dari data observasi. Pada penelitian ini, *SGS* dilakukan dengan menggunakan metode estimasi geostatistik *simple kriging* dan *ordinary kriging*.

Sebagai *true model*, dalam penelitian ini dibuat sebuah model sintetik berupa struktur stratigrafi *pinch-out*. Dari *true model* kemudian diambil beberapa kolom sebagai data sumur sintetik. Data sumur merupakan data masukan awal pada simulasi yang dilakukan pada langkah selanjutnya. Metode *Sequential Gaussian Simulation (SGS)* diaplikasikan untuk mengisi kembali kolom-kolom yang kosong, yaitu pada kolom-kolom selain data sumur. Pengisian *grid* dilakukan pada setiap *layer*, dengan asumsi bahwa proses sedimentasi terjadi per lapisan. *Grid* yang akan diisi dipilih secara *random* dengan membangkitkan bilangan acak pada *grid* di luar data sumur. *Grid* yang dipilih untuk diestimasi merupakan *grid* yang masih kosong, dengan bilangan yang paling kecil. *Grid* yang telah diestimasi akan menjadi data masukan pada estimasi *grid* selanjutnya, berperan seolah-olah sebagai data observasi. Hal ini dilakukan hingga semua *grid* terisi.

Estimasi nilai suatu *grid* dilakukan dengan memodelkan variogram antar *grid* observasi dan *grid* yang telah diestimasi. Pemodelan ditujukan untuk mengetahui nilai variogram antara *grid* yang akan diestimasi terhadap *grid-grid* observasi, pada pemodelan variogram juga akan didapat parameter *sill* atau kovarian nol. Parameter ini berfungsi dalam konversi harga variogram ke dalam harga kovarian. Dari nilai kovarian (kovarian antar data observasi maupun kovarian antara data observasi terhadap data estimasi) akan dicari nilai bobot masing-masing data observasi dengan menggunakan metode *simple kriging* dan *ordinary kriging*. Dari konsep yang dijelaskan tersebut diatas, pada penelitian ini dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

Penelitian ini dimulai dari studi perumusan teori perambatan gelombang seismik dalam bahan media. Pembahasan tentang lintasan dan pengolahan data seismik untuk memperoleh perlapisan struktur geologi. Selanjutnya melakukan pemodelan kedepan dan inversi data seismik.

5. KONTRIBUSI ILMIAH HASIL PENELITIAN

Metode yang diusulkan pada penelitian ini bermanfaat dan mempunyai pengaruh yang signifikan jika daerah prospek yang disurvei seismik faktor sebaran datanya diperhitungkan. Dalam aspek eksplorasi bahan galian pertambangan dan karakterisasi reservoir, kontribusi utama penelitian ini terletak pada diperolehnya suatu metoda dan prosedur baru inversi seismik untuk memperoleh pola perlapisan bawah permukaan dari nilai IA. Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan dunia industri pertambangan, terutama industri minyak dan gas bumi. Selanjutnya pada pengembangan ilmu pengetahuan dan dunia industri akan dibuat beberapa makalah yang akan disajikan dalam pertemuan ilmiah nasional maupun internasional.

6. LATAR BELAKANG DAN RUMUSAN

Metoda inversi seismik untuk memperoleh nilai impedansi akustik (IA) saat ini menjadi metoda standar dalam eksplorasi. Hal tersebut oleh karena IA dapat memberikan informasi dan mendeskripsikan sifat fisik dari tiap lapisan batuan dibawah permukaan. Menurut Russell (1998), seismik inversi adalah suatu teknik pembuatan model geologi bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai masukan dan data geologi sebagai kontrol. IA didefinisikan sebagai hasil kali kecepatan seismik dan densitas lapisan batuan yang dilewati gelombang seismik. Dari analisa fisika batuan, data sumur dan batu inti (*core*), dapat dibangun hubungan antara IA dan porositas. Oleh karena porositas dipengaruhi oleh sifat batuan seperti jenis litologi, kandungan fluida pori, kedalaman, tekanan dan temperatur (*Han, 1986; Nur dkk, 1991; Wang dan Nur, 1992*), maka IA juga dapat diartikan sebagai sifat fisis batuan yang dipengaruhi oleh jenis litologi, porositas, kandungan fluida, kedalaman, tekanan dan temperatur. Berdasarkan keterangan tersebut diatas, maka IA dapat digunakan sebagai indikator litologi, porositas, kandungan fluida pori dan pemetaan litologi (*Andrés dkk, 2001; Russell, 1998*).

Kunetz (1961) dan Goupillaud (1961) secara terpisah pertama kali mengusulkan konsep dasar metoda inversi seismik untuk estimasi nilai IA. Pada model yang mereka buat, diasumsikan bahwa medium elastis terdiri dari lapisan homogen. Jika nilai IA pada salah satu lapisan diketahui maka IA lapisan yang lain dapat diestimasi menggunakan perumusan rekursif. Berikutnya metoda tersebut banyak diaplikasikan pada data lapangan diantaranya oleh Lindseth (1979), Oldenburg dkk (1983), Lavergne dan Willm (1977), Gjoystdal dan Ursin, (1981), dan Tarantola (1984). Lavergne dan Willm (1977) menjelaskan pembahasan urutan pengolahan data untuk mengkonversi seismogram menjadi log IA sintetis. Godfrey dkk (1980) mengembangkan model *stochastic* untuk memperoleh IA dari data seismik. Sedangkan Cooke dan Schneider (1983) mengembangkan teknik inversi linier pada data *common depth point* (CDP) tras seismik untuk mengestimasi nilai IA. Teknik inversi linier tersebut sampai sekarang menjadi teknik inversi yang populer (Menke, 1984).

Ada beberapa metoda inversi seismik dalam penentuan perlapisan IA dibawah permukaan secara rekursif yang berkembang sampai saat ini, diantaranya adalah inversi *sparse spike*, inversi *bandlimited* dan inversi *model based* (Russell, 1998). Namun dari beberapa metoda inversi tersebut masing-masing mempunyai kelebihan dan kelemahan. Hampson (1986), Lorenzen (2000) dan Ma (2001) mengatakan bahwa, metoda inversi seismik model based mempunyai keunggulan dibanding metoda inversi seismik lainnya, diantaranya dapat memberikan resolusi yang lebih baik secara vertikal dan lateral, informasi frekuensi rendah dimungkinkan dapat diperoleh, kesalahan inversi terdistribusi diseluruh solusi, efek atenuasi dan multipel dapat dimodelkan. Walaupun metode inversi model based lebih unggul dari metode inversi yang lainnya, namun menurut Cooke dan Schneider (1983) dan Russell (1998) menjelaskan bahwa metoda inversi model based mempunyai kelemahan, yaitu mempunyai solusi akhir yang tidak pernah tercapai konvergensi dan diperoleh secara iterasi, juga dimungkinkan lebih dari satu model kedepan dapat cocok dengan

data (*non-unik*). Untuk mengatasi kelemahan dan menstabilkan proses inversi tersebut dapat dilakukan dengan metoda regularisasi. Dimri (1992) menjelaskan, ada dua metoda regularisasi penting yaitu, metoda pemberian parameter *damping* dan metoda pemberian *constraint pre-whitening*.

Metode estimasi pada inversi seismik yang digunakan dalam studi eksplorasi hidrokarbon sampai saat ini umumnya masih menggunakan konsep estimasi konvensional, seperti metode *inverse distance*, *nearest-neighbour* dan *triangulation*. Beberapa metode tersebut hanya mempertimbangkan parameter jarak tanpa memperhatikan faktor sebaran, korelasi antar data serta *statistical nature* dari data. Estimasi Geostatistik secara simulasi gaussian sequensial (SGS) merupakan suatu metode estimasi yang mempertimbangkan parameter-parameter statistik dari data observasi, seperti sebaran, korelasi antar data, serta probabilitasnya secara statistik. Dengan SGS, simulasi pemodelan dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter statistik dari data observasi. Pada penelitian ini, SGS dilakukan dengan menggunakan metode estimasi geostatistik *simple kriging* dan *ordinary kriging*. Dengan alasan tersebut diatas, penelitian ini mencoba mendesain suatu metode estimasi dan simulasi untuk estimasi perlapisan IA bawah permukaan bumi menggunakan metode geostatistik Simulasi Gaussian Sequensial. Metode yang diusulkan pada penelitian ini bermanfaat dan mempunyai pengaruh yang signifikan jika daerah prospek yang disurvei seismik faktor sebaran datanya diperhitungkan.

Sebagai *true model*, dalam penelitian ini dibuat sebuah model sintetik berupa struktur stratigrafi *pinch-out*. Dari *true model* kemudian diambil beberapa kolom sebagai data sumur sintetik. Data sumur merupakan data masukan awal pada simulasi yang dilakukan pada langkah selanjutnya. Metode *Sequential Gaussian Simulation (SGS)* diaplikasikan untuk mengisi kembali kolom-kolom yang kosong, yaitu pada kolom-kolom selain data sumur. Pengisian *grid* dilakukan pada setiap *layer*, dengan asumsi bahwa proses sedimentasi terjadi per lapisan. *Grid* yang akan

diisi dipilih secara *random* dengan membangkitkan bilangan acak pada *grid* di luar data sumur. *Grid* yang dipilih untuk diestimasi merupakan *grid* yang masih kosong, dengan bilangan yang paling kecil. *Grid* yang telah diestimasi akan menjadi data masukan pada estimasi *grid* selanjutnya, berperan seolah-olah sebagai data observasi. Hal ini dilakukan hingga semua *grid* terisi. Estimasi nilai suatu *grid* dilakukan dengan memodelkan variogram antar *grid* observasi dan *grid* yang telah diestimasi. Pemodelan ditujukan untuk mengetahui nilai variogram antara *grid* yang akan diestimasi terhadap *grid-grid* observasi, pada pemodelan variogram juga akan didapat parameter *sill* atau kovarian nol. Parameter ini berfungsi dalam konversi harga variogram ke dalam harga kovarian. Dari nilai kovarian (kovarian antar data observasi maupun kovarian antara data observasi terhadap data estimasi) akan dicari nilai bobot masing-masing data observasi dengan menggunakan metode *simple kriging* dan *ordinary kriging*.

7. DASAR TEORI

7.1. Teori Gelombang Seismik

Menurut Sheriff dan Geldart (1995), ukuran dan bentuk sebuah benda padat dapat berubah dengan cara memberikan gaya ke bagian permukaan luar dari benda. Gaya luar ini dilawan oleh gaya internal yang melawan perubahan bentuk dan ukuran benda tersebut. Sebagai akibat dari gaya internal benda berusaha kembali ke bentuk semula ketika gaya luar dihilangkan. Fluida akan mempertahankan perubahan volume, tetapi tidak dengan perubahan bentuk. Sifat melawan perubahan bentuk atau ukuran dan kembali ke bentuk semula ketika gaya luar dihilangkan dikenal dengan istilah elastisitas. Sebuah benda yang elastis sempurna adalah benda yang kembali dengan sempurna ke bentuk dan ukuran semula setelah gaya luar dihilangkan. Batuan dapat dianggap elastis sempurna jika deformasi yang terjadi pada benda tersebut (*perubahan bentuk atau ukuran*) cukup kecil.

Gelombang seismik menyebabkan deformasi elastis sepanjang lintasan perambatannya dibawah permukaan. Persamaan perambatan gelombang dalam zat padat dapat diturunkan menggunakan hukum Hooke dan hukum Newton kedua tentang gerak (Yilmaz, 2001). Hubungan antara gaya yang dikenakan pada benda terhadap deformasi benda tersebut dinyatakan dalam konsep tegangan dan regangan.

Tegangan didefinisikan sebagai perbandingan antara besar gaya terhadap luas dimana gaya tersebut dikenakan. Jika gaya yang dikenakan tegak lurus terhadap permukaan benda disebut *tegangan normal*. Jika gaya yang dikenakan berarah tangensial terhadap elemen luas permukaan benda disebut *tegangan geser*. Dengan demikian, segala bentuk tegangan dapat diuraikan dalam komponen *normal* dan *tangensial* (Yilmaz, 2001).

Ketika benda elastis dikenai tegangan akan terjadi perubahan bentuk dan dimensi, perubahan bentuk tersebut dikenal dengan regangan. Regangan didefinisikan sebagai perubahan relatif dimensi atau bentuk dari suatu benda. Regangan yang menyebabkan penambahan relatif dimensi panjang dalam arah sumbu x dan y dikenal dengan regangan normal. Sedangkan regangan dimana sudut pada bidang xy berkurang pada saat tegangan diberikan (*merupakan ukuran perubahan bentuk dari medium tersebut*) dikenal dengan regangan geser. Perubahan dimensi akibat regangan akan menghasilkan perubahan volume benda, perubahan volume per satuan volume disebut *dilatasi* (Yilmaz, 2001).

7.2 Pemodelan Kedepan Seismik (*Seismic Forward Modeling*)

Pemodelan kedepan seismik (*seismic forward modelling*) pada dasarnya adalah pemodelan yang digunakan untuk menggambarkan respon gelombang seismik apabila lapisan-lapisan bawah permukaan bumi dilewati oleh gelombang seismik. Dalam metode seismik, sinyal seismik yang direkam oleh geophon merupakan hasil operasi penyaringan dari sinyal sumber. Operasi

penyaringan tersebut dapat uraikan sebagai proses konvolusi antara sinyal sumber dengan besar koefisien gelombang pantul dari batas antar lapisan bawah permukaan (KR). Formulasi konvolusi dapat dituliskan sebagai (Sherif dan Geldart, 1995):

$$s = w * KR \quad (7.1)$$

dengan $*$ adalah operasi konvolusi.

Proses konvolusi tersebut dapat didekati dengan analogi proses penyaringan sederhana. Analogi tersebut dapat dijelaskan sebagai sebuah proses dimana sinyal masukan $x(t)$ dimodifikasi dengan formulasi matematis untuk menghasilkan keluaran baru $y(t)$. Berbagai hubungan dalam pengolahan atau manipulasi data dinyatakan sebagai operasi konvolusi. Hasil konvolusi $s(t)$ dari sinyal $w(t)$ dengan koefisien pantul batas antara dua lapisan medium $KR(t)$ yang dilewati sinyal dapat diekspresikan dalam integral konvolusi sebagai,

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} w(\tau)KR(t - \tau)d\tau \quad (7.2)$$

$$s(t) = w(t) * KR(t) \quad (7.3)$$

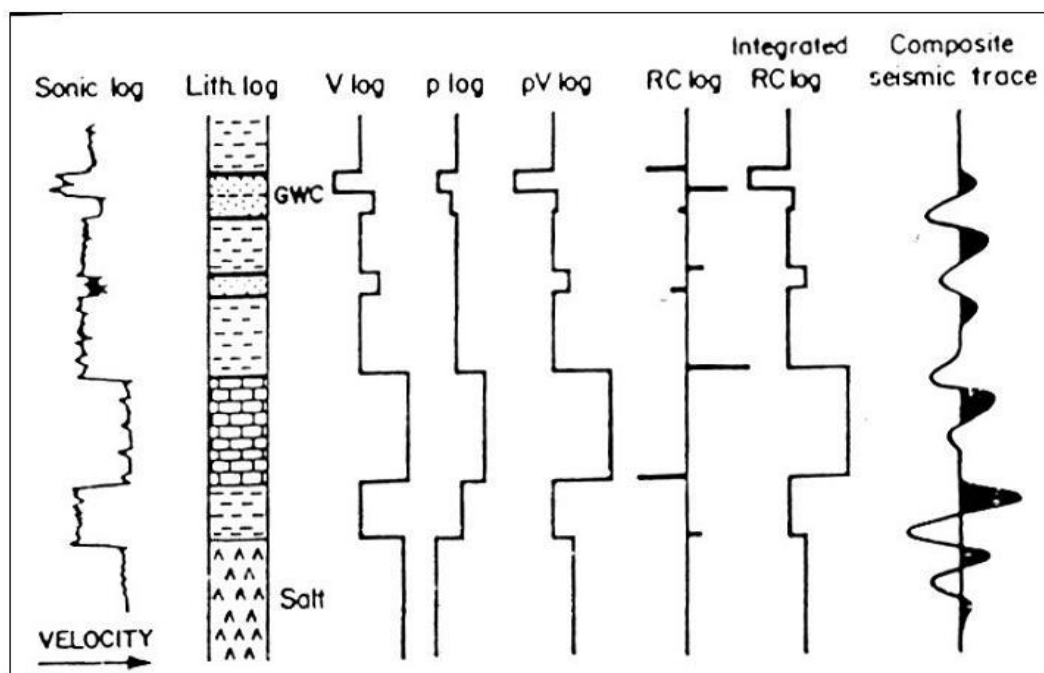
Konversi analog ke digital menghasilkan sinyal digital yang di-*sampling* pada interval waktu tertentu. Dengan menganggap fungsi $KR(t)$ dan $w(t)$ merupakan fungsi diskrit dengan interval sampling yang sama, maka operasi konvolusi untuk sinyal diskrit diberikan oleh (Yilmaz, 1987) sebagai,

$$s(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} R_j w_{k-j} \quad (7.4)$$

dengan $k = 1,2,3$

Secara teori, rekaman data seismik yang diperoleh dari akuisisi data di lapangan merupakan konvolusi antara gelombang sumber $w(t)$ dengan fungsi reflektivitas lapisan bawah permukaan $KR(t)$. Seismogram sintetik adalah bentuk ideal rekaman data seismik, yaitu $s(t)$ dengan bentuk wavelet sumber yang juga diidealkan secara matematis. Dari Persamaan (7.2) terlihat bahwa

diperlukan dua parameter utama untuk membuat suatu rekaman seismogram sintetis sebagai model konvolusi, yaitu wavelet sumber dan fungsi reflektivitas bawah permukaan. Seismogram sintetis merupakan rekaman seismik yang dibuat secara teoretis dari data fungsi reflektivitas yang dikonvolusikan dengan sinyal sumber (*wavelet*). Gelombang seismik akan dipantulkan pada setiap pemantul, besar amplitudo gelombang yang dipantulkan tersebut sebanding dengan besar reflektivitas. Seismogram sintetis merupakan superposisi dari pemantulan gelombang dari semua pemantul. Seismogram sintetis biasanya ditampilkan dengan format *polaritas* dan bentuk gelombang yang sama dengan rekaman seismik. Selain untuk keperluan pengikatan data seismik dengan sumur, seismogram sintetis berguna untuk mendiagnosa karakter pemantulan dari peralihan bawah permukaan. Untuk keperluan analisis perubahan parameter-parameter fisis batuan, seismogram sintetis dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Dalam bentuk asal (*tras riil seismik*) maupun dalam bentuk yang telah ditransformasi (*tras kuadratur seismik beserta atribut turunannya*). Contoh seismogram sintetis ditampilkan pada Gambar 7.1.

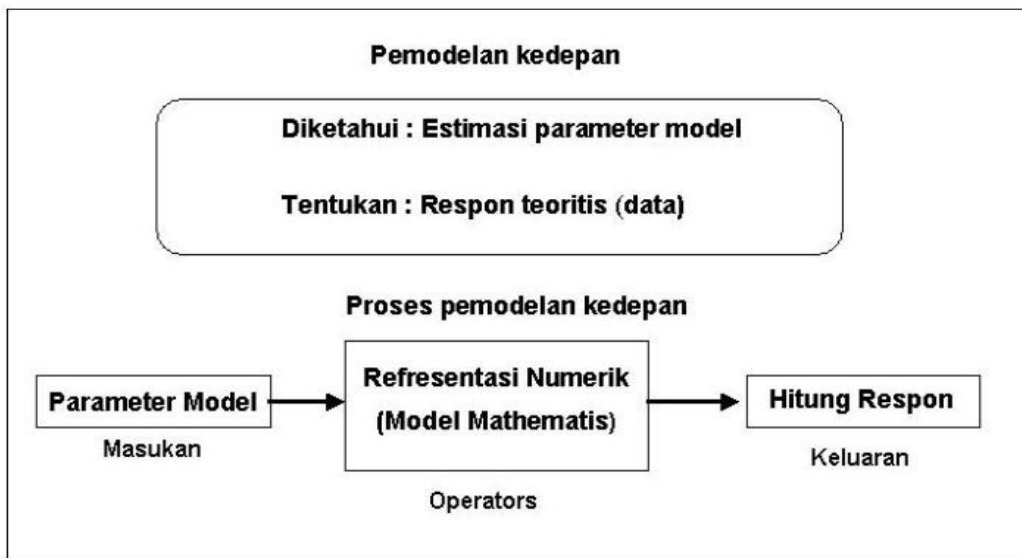


Gambar 7.1 Contoh seismogram sintetis yang dihasilkan dari berbagai log data (Russell, 1998).

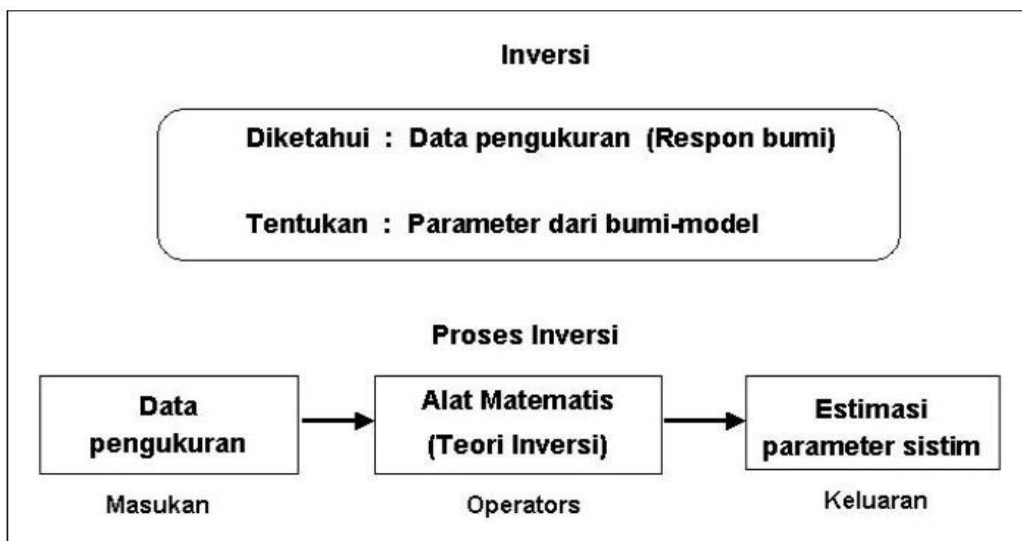
7.3 Inversi Seismik

Ada beberapa tahap yang diperlukan dalam proses inversi seismik untuk memperoleh hasil inversi yang tepat dan akurat,. Tahapan dalam inversi seismik menurut Russel (1998) adalah, pengikatan data sumur dengan data seismik, estimasi atau perkiraan wavelet, pemodelan geologi dengan menggunakan horison dan data sumur, inversi data seismik dan interpretasi mengenai unit stratigrafi. Untuk lebih memahami pengertian inversi, maka sebaiknya diketahui mengenai proses kebalikannya. Biasanya, interpretasi beberapa data geofisika melibatkan perbandingan dengan model teoretisnya (*model matematisnya*) dengan mengasumsikan distribusi sifat-sifat fisis bumi tertentu yang menggambarkan keadaan bawah permukaan. Prosedur dari pemodelan tersebut adalah menentukan nilai-nilai beberapa parameter fisis, misalnya ketebalan dan densitas dari sebuah lapisan bawah permukaan, kemudian dengan model matematis dapat diperoleh beberapa kuantitas yang dapat diukur, seperti tras seismik dan nilai impedansi akustik. Prosedur tersebut dikenal dengan pemodelan kedepan (*forward modelling*). Prosedur ini kemudian digunakan untuk memodifikasi dan memperbaiki metode pencocokan kurva dengan bantuan komputer. Dalam metode pemodelan kedepan interaktif, kurva teoritis yang dihasilkan dari model masukan dicocokkan dengan kurva hasil pengukuran lapangan, selanjutnya paramater model masukkan dapat diubah-ubah untuk mendekati kurva hasil pengukuran lapangan tersebut.

Dalam pendekatan inversi, struktur bumi diperoleh dari pengukuran lapangan. Proses inversi ini dideskripsikan sebagai: Jika terdapat sebuah kumpulan informasi atau data tentang kuantitas suatu pengukuran, maka dengan menggunakan hubungan teoritis akan dapat diturunkan sekumpulan nilai parameter yang menjelaskan atau menghasilkan informasi atau data hasil pengukuran tersebut (Meju, 1994). Ilustrasi perbandingan antara pemodelan kedepan dan inversi dapat dilihat dalam diagram Gambar (7.2 dan 7.3).



Gambar 7.2 Ilustrasi permasalahan pemodelan kedepan (Meju, 1994).



Gambar 7.3 Ilustrasi permasalahan inversi (Meju, 1994).

Untuk membentuk kerangka matematis pada tujuan tersebut diatas, diperlukan persamaan model yang menghubungkan antara data pengukuran lapangan dengan parameter model untuk diestimasi, hal tersebut dapat diformulasi sebagai,

$$d' = Lp \tag{7.5}$$

dengan d' adalah vektor data pengukuran, p adalah vektor parameter model, dan L adalah matrik yang menghubungkan vektor data pengukuran terhadap vektor parameter model. Vektor kesalahan (ε) didefinisikan sebagai perbedaan antara vektor model dan vektor data pengukuran yang dapat dinyatakan seperti,

$$\varepsilon = d - d' \quad (7.6)$$

Jika persamaan (7.5) disubstitusi ke persamaan (7.6), maka akan diperoleh,

$$\varepsilon = d - Lp \quad (7.7)$$

Menurut Lines dan Treitel (1984), solusi *least square* untuk persamaan (7.7) dapat ditentukan.

Jika kuadrat kesalahan kumulatif (S) diuraikan sebagai,

$$S = \varepsilon^T \varepsilon \quad (7.8a)$$

dengan T adalah transpose. Maka dengan mensubstitusi ε dari persamaan (7.7) akan diperoleh,

$$S = (d - Lp)^T (d - Lp) \quad (7.8b)$$

Dari persamaan (7.8a) diperoleh persamaan,

$$S = d^T d - p^T L^T d - d^T Lp + p^T L^T Lp \quad (7.8c)$$

Jika kedua sisi persamaan (7.8c) diturunkan terhadap p dan membuat syarat-syarat untuk minimalisasi *least square* ($\partial S / \partial p = 0$), maka akan diperoleh,

$$-d^T L + p^T L^T L = 0 \quad (7.9a)$$

Dengan menerapkan matrik transpose dan menyusun kembali bagian-bagiannya, dapat diperoleh formulasi berikut,

$$(L^T L)p = L^T d \quad (7.9b)$$

sehingga solusi *least square* dapat diselesaikan menjadi,

$$p = (L^T L)^{-1} L^T d \quad (7.10a)$$

dengan $L^T L$ adalah matrik kovariansi dan $(L^T L)^{-1} L^T$ adalah *least square (generalisasi linier)* inversi dari L . Persamaan (7.10a) menggambarkan solusi generalisasi inversi linier (*GLI*) untuk parameter vektor p . Solusi ini sudah populer digunakan dalam banyak tahap analisa data seismik. Contohnya termasuk dekonvolusi, koreksi residual statik, koreksi refraksi statik dan transformasi radon diskrit. Dalam penerapannya, untuk menstabilkan proses inversi biasanya solusi tersebut diberi batasan (*constraint*), bentuk solusi persamaan yang diberi *constraint* dinyatakan sebagai,

$$p = (L^T L + \chi I)^{-1} L^T d \quad (7.10b)$$

dengan χ disebut faktor *damping* dan I adalah matrik identitas.

Pada kasus-kasus tertentu, metode generalisasi inversi linier tidak memerlukan *constraint*. Solusi persamaan yang tidak diberi *constraint* diformulasi sebagai,

$$p = (L^{*T} L)^{-1} L^{*T} d \quad (7.11)$$

dengan tanda bintang menyatakan bentuk kompleks.

Metode inversi seismik untuk estimasi perlapisan IA bawah permukaan saat ini menjadi metode standar dalam eksplorasi. Hal tersebut oleh karena IA dapat memberikan informasi dan mendeskripsikan sifat fisik dari tiap lapisan batuan dibawah permukaan. Menurut Russell (1998), seismik inversi adalah suatu teknik pembuatan model geologi bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai masukan dan data geologi sebagai kontrol. Impedansi akustik didefinisikan sebagai hasil kali kecepatan seismik dan densitas lapisan batuan yang dilewati gelombang seismik. Dari analisa fisika batuan, seperti data sumur dan batuan inti (*core*) dapat dibangun hubungan antara IA dan porositas. Oleh karena porositas dipengaruhi oleh sifat batuan seperti jenis litologi, kandungan fluida pori, kedalaman, tekanan dan temperatur (Han, 1986; Nur dkk, 1991; Wang dan Nur, 1992), maka IA juga dapat diartikan sebagai sifat fisis batuan yang dipengaruhi oleh jenis litologi, porositas, kandungan fluida, kedalaman, tekanan dan temperatur.

Berdasarkan keterangan tersebut, maka IA dapat digunakan sebagai indikator litologi, porositas, kandungan fluida pori dan pemetaan litologi (Andrés dkk, 2001; Russell, 1998). Data IA dapat memberikan gambaran yang lebih jelas pada pola arah perlapisan bawah permukaan dibandingkan dengan pola arah penampang amplitudo seismik, sehingga lebih mudah jika dikaitkan dengan sekuen stratigrafi, juga dapat meningkatkan resolusi seperti yang disebabkan oleh efek *tuning* pada data seismik, sehingga memungkinkan bentuk-bentuk seperti *pinchout* dapat dipetakan lebih teliti. Dari IA dimungkinkan untuk mengartikan litologi terutama untuk memperoleh parameter reservoir seperti porositas dan permeabilitas reservoir. Peta parameter reservoir tersebut berguna sebagai masukan untuk pemodelan reservoir, seperti estimasi volume cadangan dan memutuskan lokasi pengeboran sumur baru.

7.4. GEOSTATISTIK

Geostatistik pada dasarnya merupakan aplikasi konsep statistika pada ilmu kebumihan, khususnya pada aplikasi eksplorasi perminyakan (Matheron dalam Dubrule, 2003). Konsep ini secara sederhana ditujukan untuk mengestimasi nilai data di sekitar titik observasi. Pada penelitian ini, konsep statistika diaplikasikan pada pemodelan impedansi akustik berdasarkan data-data impedansi akustik pada sumur. Berikut merupakan beberapa hal penting yang berkaitan dengan konsep geostatistik.

Jarak (h)

Jarak (h) antar data i pada koordinat (x_i, z_i) dan data j pada koordinat (x_j, z_j) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (7.12)$$

Variogram ($\gamma(h)$)

Variogram merupakan ukuran yang menyatakan derajat perbedaan di antara sampel data. Secara sederhana, variogram di antara dua data dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}(\phi_i - \phi_j)^2 \quad (7.13)$$

dimana:

- ϕ_i dan ϕ_j adalah nilai data
 ϕ dapat berupa nilai porositas, kecepatan gelombang, impedansi akustik, dan sebagainya.
- h adalah jarak antara data ϕ_i dan ϕ_j

Untuk memudahkan pemodelan pada langkah selanjutnya, variogram dapat dihitung dengan mengelompokkan jarak antar data dalam sejumlah *bin*, dimana jumlah *bin* ditentukan terlebih dahulu. Harga selang (Δh) pada tiap *bin* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta h = \frac{h \max - h \min}{nbin} \quad (7.14)$$

dimana *nbin* adalah jumlah *bin* yang ditentukan terlebih dahulu.

Setelah itu ditentukan nilai variogram ($\gamma(h)$) untuk tiap *bin* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{h_{ij}=h} (\phi_i - \phi_j)^2 \quad (7.15)$$

dimana:

- ϕ_i dan ϕ_j adalah nilai data yang selisih jaraknya berada dalam rentang *bin*.
- N merupakan jumlah pasangan data (jarak) yang berada dalam rentang *bin*

Nilai-nilai variogram pada tiap *bin* yang diplot terhadap jarak (h) kemudian dijadikan sebagai referensi untuk pemodelan variogram ($\gamma(h)$) untuk seluruh nilai jarak (h).

Pemodelan Variogram

Pemodelan antara lain ditujukan untuk mendapatkan nilai variogram yang belum diketahui, yaitu nilai variogram antara data observasi dan data yang akan diestimasi. Pemodelan variogram ($\gamma(h)$) dapat dilakukan dengan beberapa bentuk persamaan, antara lain sebagai berikut:

a) Persamaan *spherical*

Jika $h < a$

$$\gamma(h) = c \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (7.16)$$

Jika $h \geq a$

$$\gamma(h) = c$$

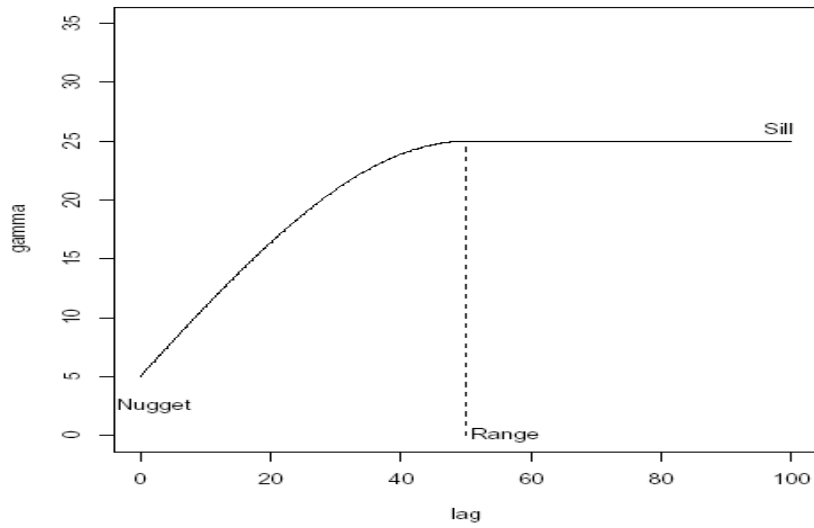
b) Persamaan *exponential*

$$\gamma(h) = c \left[1 - \exp \left(- \frac{h}{a} \right) \right] \quad (7.17)$$

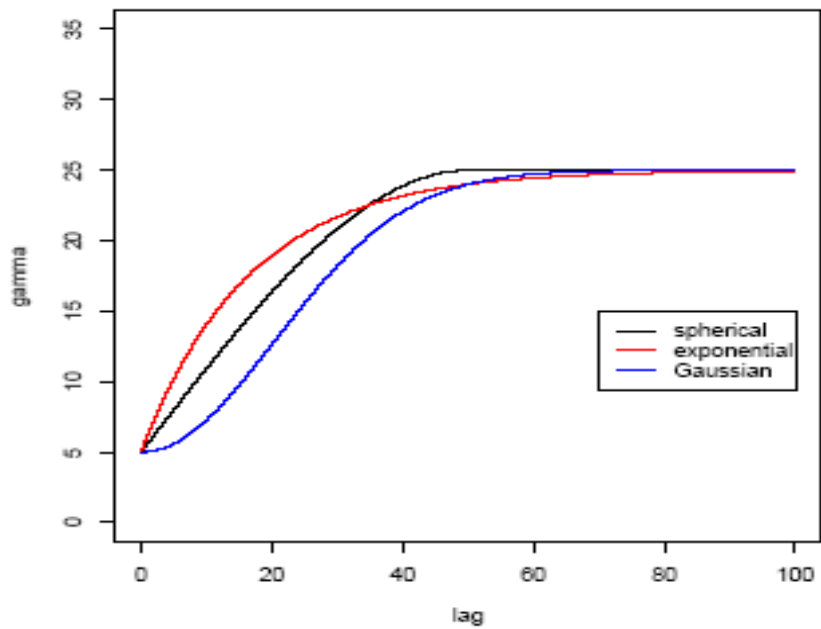
keterangan:

- h adalah nilai jarak antar data
- a atau range, adalah nilai h pada saat *trend* variogram mulai stabil
- c adalah rata-rata nilai-nilai variogram pada $h \geq a$

c ini juga disebut sebagai *sill* atau kovarian nol ($C(0)$)



Gambar 7.4. Parameter-parameter pada model variogram



Gambar 7.5. Bentuk-bentuk model variogram (Sain, 2004)

Kovarian ($C(h)$)

Sama halnya dengan variogram, kovarian juga merupakan ukuran yang menyatakan derajat perbedaan di antara sampel data. Kovarian ($C(h)$) dapat dihitung dengan persamaan (5.7):

$$C(h) = C(0) - \gamma(h) \quad (7.18)$$

dimana:

- $\gamma(h)$ adalah nilai variogram antar data
- $C(0)$ adalah kovarian nol atau *sill*, didapat pada pemodelan variogram

Kriging

Metode *kriging* pada dasarnya merupakan metode untuk mengestimasi nilai yang berada di sekitar data yang telah diketahui nilainya, dengan berdasarkan nilai data tersebut dan nilai variogram (Krige dalam Dorsel dan La Breche, 1997). Dengan metode *kriging*, ditentukan nilai data yang dicari berdasarkan pembobotan terhadap nilai-nilai data yang telah diketahui dengan persamaan berikut:

$$\phi_0 = W_1\phi_1 + W_2\phi_2 + \dots + W_n\phi_n \quad (7.19)$$

dimana:

- ϕ_0 adalah nilai data yang dicari
- ϕ_1, \dots, ϕ_n adalah data-data yang telah diketahui nilainya
- W_1, \dots, W_n adalah bobot masing-masing data yang telah diketahui nilainya

Pencarian bobot data dapat dilakukan melalui operasi matriks, yang dapat dilakukan melalui beberapa metode, antara lain:

Simple kriging

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \cdot & \cdot & C_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{n1} & \cdot & \cdot & C_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n0} \end{bmatrix} \quad (7.20)$$

Ordinary kriging

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \cdot & \cdot & C_{1n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{n1} & \cdot & \cdot & C_{nn} & 1 \\ 1 & \cdot & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.21)$$

Kedua persamaan matriks tersebut dapat dinyatakan kembali dalam persamaan:

$$CW = D \quad (7.22)$$

dimana:

- C adalah matriks kovarian antar data yang telah diketahui nilainya
- D adalah matriks kovarian antar data yang diketahui terhadap data yang dicari nilainya
- W adalah matriks bobot

Persamaan matriks tersebut kemudian dapat ditulis kembali sebagai persamaan:

$$W = C^{-1}D \quad (7.23)$$

Sequential Gaussian Simulation (SGS)

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam *SGS* adalah sebagai berikut:

- Pada awal simulasi, data sumur sebagai data observasi berperan sebagai data masukan dalam estimasi nilai *grid* yang belum diketahui nilainya.
- *Grid* yang akan diestimasi ditentukan secara *random*.
- Nilai *grid* diestimasi dengan metode *kriging*
- *Grid* yang telah diestimasi akan menjadi data masukan pada estimasi *grid* selanjutnya, seolah-olah sebagai data observasi. (Hampson dan Russell, 1998)

Ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam pengembangan metode inversi tersebut, salah satunya adalah asumsi-asumsi yang digunakan. Pengembangan metode ini berdasarkan perhitungan beberapa parameter inversi yang digunakan dalam mempengaruhi keefektifan dari metode inversi tersebut. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu:

7.5. Wavelet Seismik

Wavelet adalah sinyal transien yang mempunyai interval waktu terbatas dan sebagai jenis gelombang yang merupakan sumber dalam eksplorasi seismik. Estimasi wavelet adalah penentuan dari efek signatur sumber dan respon penerima dari gelombang seismik. Kerangka kerja dasarnya adalah model konvolusi (Ricker, 1953; Sheriff dan Geldart, 1995). Tras seismik merupakan hasil konvolusi wavelet dengan respon impuls bumi (*reflektivitas*), jika wavelet diketahui, maka reflektivitas dapat diinversi. Pendekatan metode estimasi wavelet dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu, metoda deterministik dan metoda statistik. Pendekatan metode deterministik adalah mengukur signatur sumber ketika secara efektif bebas dari respon bumi. Pendekatan metode statistik adalah mengekstrak wavelet dari tras seismik. (Russell, 1998).

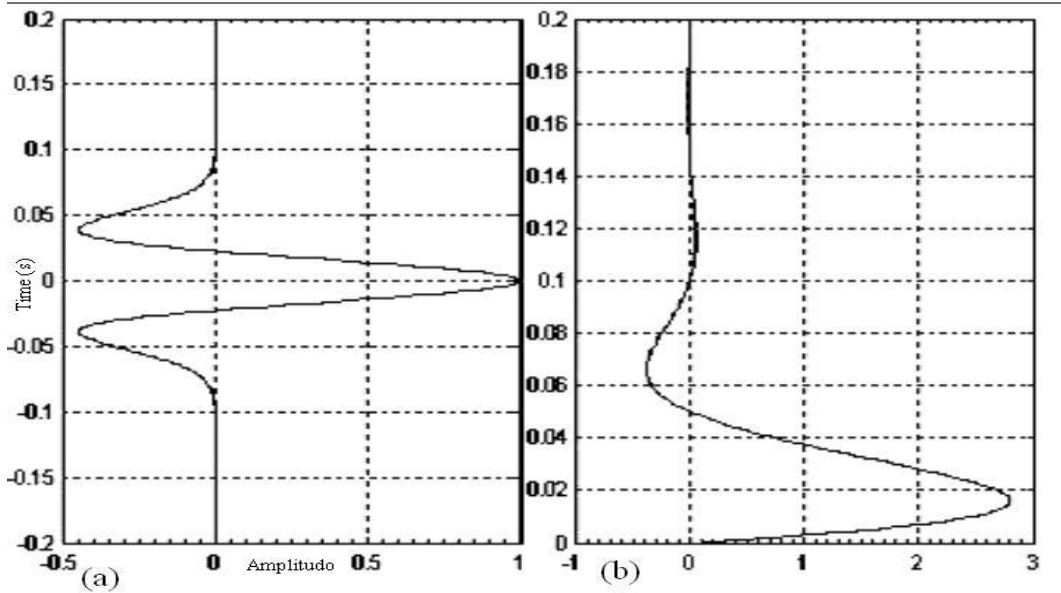
Penentuan jenis wavelet yang akan digunakan dalam proses inversi sangatlah penting, wavelet yang digunakan harus mendekati bentuk gelombang seismik. Ada beberapa jenis wavelet yang dianggap mendekati bentuk gelombang seismik, diantaranya adalah wavelet *Ricker*. Wavelet ini memiliki dua jenis, yaitu jenis fasa minimum dan fasa nol. Gambar 7.6 ilustrasi bentuk masing-masing wavelet fasa nol dan fasa minimum. Perumusan wavelet Ricker fasa nol dalam domain waktu diformulasi sebagai,

$$w(t) = (1 - 2\pi^2 f_m^2 t^2) e^{-\pi^2 f_m^2 t^2} \quad (7.24)$$

dan wavelet Ricker fasa minimum dalam domain waktu diberikan oleh :

$$w(t) = 2\pi \sin(2\pi f_m t) e^{-4f_m t} \quad (7.25)$$

Besaran f_m dalam kedua persamaan untuk kedua jenis wavelet menyatakan frekuensi puncak dari wavelet tersebut. Semakin tinggi frekuensi puncak dari wavelet, maka bentuknya akan semakin runcing (*spike*).



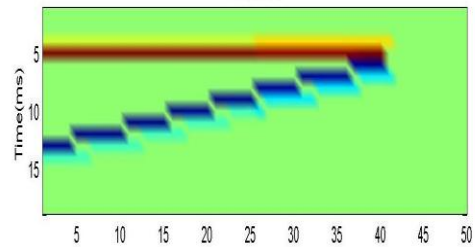
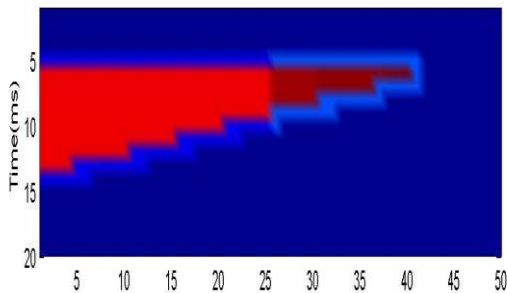
Gambar 7.6 Jenis wavelet sumber, (a) adalah wavelet fasa nol, dan (b) adalah wavelet fasa minimum.

7.6 Model Bumi

Pada pengembangan metode inversi, pada awalnya model diasumsikan bahwa seluruh lapisan bawah permukaan bumi memiliki karakteristik yang seragam (*homogen*). Model bumi yang seragam tersebut tidak berarti bawah permukaan bumi hanya memiliki satu lapisan, oleh karena pada proses inversi parameter-parameter model bumi tersebut akan diperbaharui. Bagian penting dari penggunaan model awal yang seragam adalah memilih horison (*posisi reflektor*) pada daerah survei yang tepat, karena horison-horison itulah yang akan secara bertahap diperbaharui dalam proses inversi.

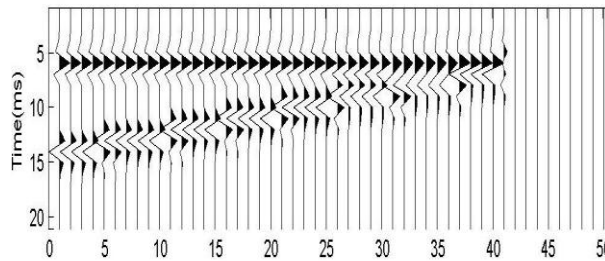
8. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Sebagai *true model*, dalam penelitian ini dibuat sebuah model sintetik berupa struktur stratigrafi *pinch-out* seperti digambarkan pada Gambar 8.1a, Gambar 8.1b dan Gambar 8.1c.. *True model* merupakan matriks dengan ukuran 50 x 20.



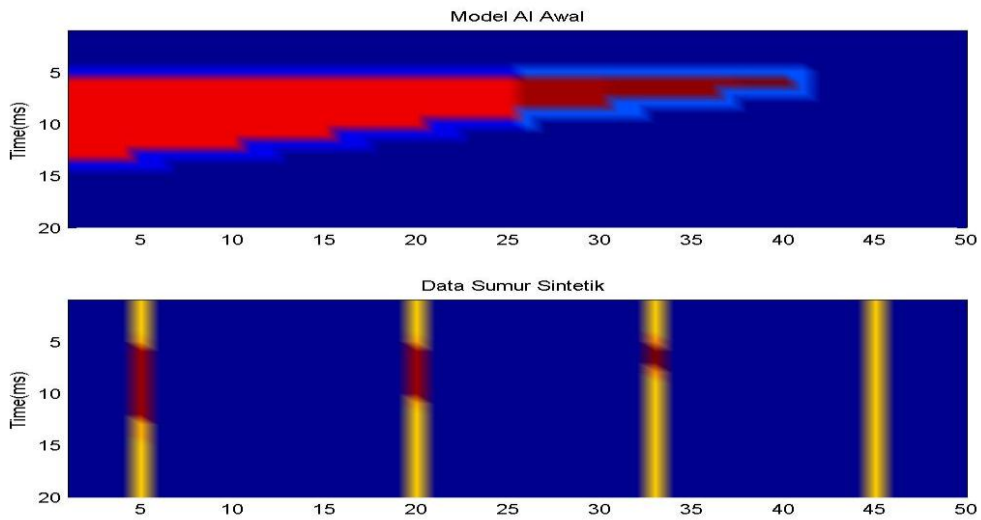
Gambar 8.1a. *Acoustic impedance true model*

Gambar 8.1b. *Seismic reflectivity true model*



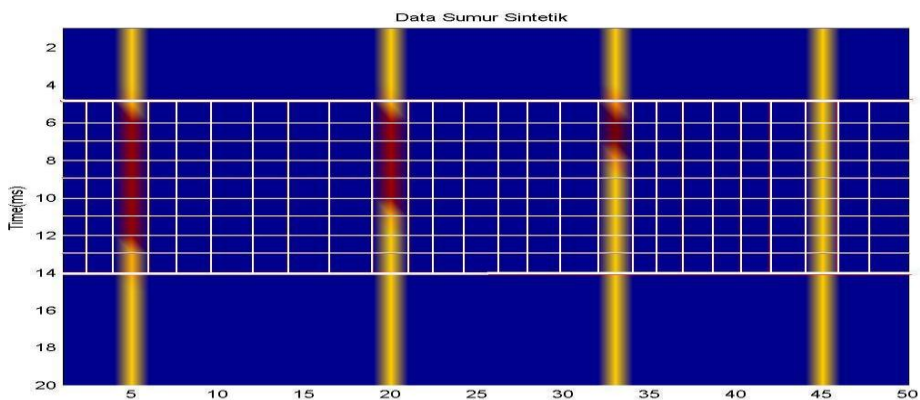
Gambar 8.1c. *Seismic trace true model*

Berdasarkan *true model* yang diperoleh kemudian diambil empat kolom sebagai data sumur sintetik. Data sumur merupakan data masukan awal pada simulasi yang dilakukan pada langkah selanjutnya. Data sumur diambil dari kolom 5, 20, 33, dan kolom 45 dari matriks *true model* seperti digambarkan pada Gambar 8.2..



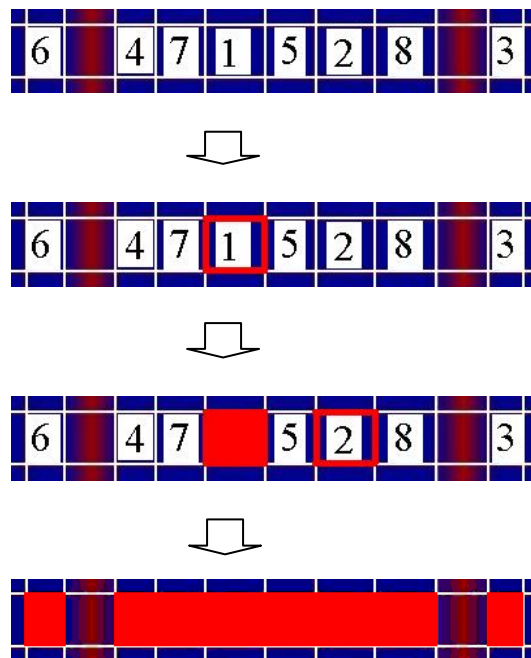
Gambar 8.2. Pengambilan data sumur sintetik dari *true model*

Metode *Sequential Gaussian Simulation (SGS)* diaplikasikan untuk mengisi kembali kolom-kolom yang kosong, yaitu pada kolom-kolom selain data sumur seperti yang dilihat pada Gambar 8.3. Pengisian dibatasi dari baris 5 hingga baris 14, yaitu batas atas dan bawah struktur stratigrafi *pinch-out*. *Area of interest* ini dipilih untuk melihat seberapa baik pemodelan mampu *me-recover true model* berupa struktur *pinch-out*. Berikut merupakan ilustrasi yang menggambarkan *area of interest*.



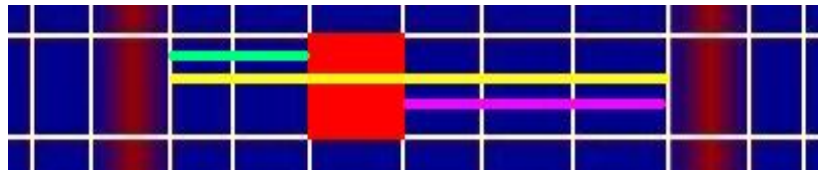
Gambar 8.3. *Area of interest*

Selain *area of interest*, gambar 8.3 juga memperlihatkan *grid-grid* data sumur yang telah diketahui nilainya (data observasi), dan *grid-grid* selain kolom data sumur yang akan diestimasi nilainya. Pengisian *grid* dilakukan pada setiap *layer*, dengan asumsi bahwa proses sedimentasi terjadi per lapisan. *Grid* yang akan diisi dipilih secara *random* dengan membangkitkan bilangan acak pada *grid* di luar data sumur. *Grid* yang dipilih untuk diestimasi merupakan *grid* yang masih kosong, dengan bilangan yang paling kecil. *Grid* yang telah diestimasi akan menjadi data masukan pada estimasi *grid* selanjutnya, berperan seolah-olah sebagai data observasi. Hal ini dilakukan hingga semua *grid* terisi. Ilustrasi mengenai pengisian *grid* dapat dilihat pada gambar 8.4.



Gambar 8.4. Pengisian *grid* yang dilakukan secara *random*

Estimasi nilai suatu *grid* dilakukan dengan memodelkan variogram antar *grid* observasi dan *grid* yang telah diestimasi. Gambar 8.5 dan Gambar 8.6 menunjukkan pasangan-pasangan *grid* yang dicari nilai variogramnya, untuk kemudian dimodelkan.



Gambar 8.5. Pasangan data/*grid* observasi

Pemodelan ditujukan untuk mengetahui nilai variogram antara *grid* yang akan diestimasi terhadap *grid-grid* observasi.



Gambar 8.6. Pasangan data/*grid* observasi terhadap *grid* estimasi

Pemodelan variogram akan didapat parameter *sill* atau kovarian nol. Parameter ini berfungsi dalam konversi harga variogram ke dalam harga kovarian. Dari nilai kovarian (kovarian antar data observasi maupun kovarian antara data observasi terhadap data estimasi) akan dicari nilai bobot masing-masing data observasi dengan menggunakan metode *simple kriging* dan *ordinary kriging*. Nilai *grid* estimasi adalah penjumlahan nilai *grid* observasi dikali harga bobotnya, sesuai dengan bentuk persamaan (7.23)

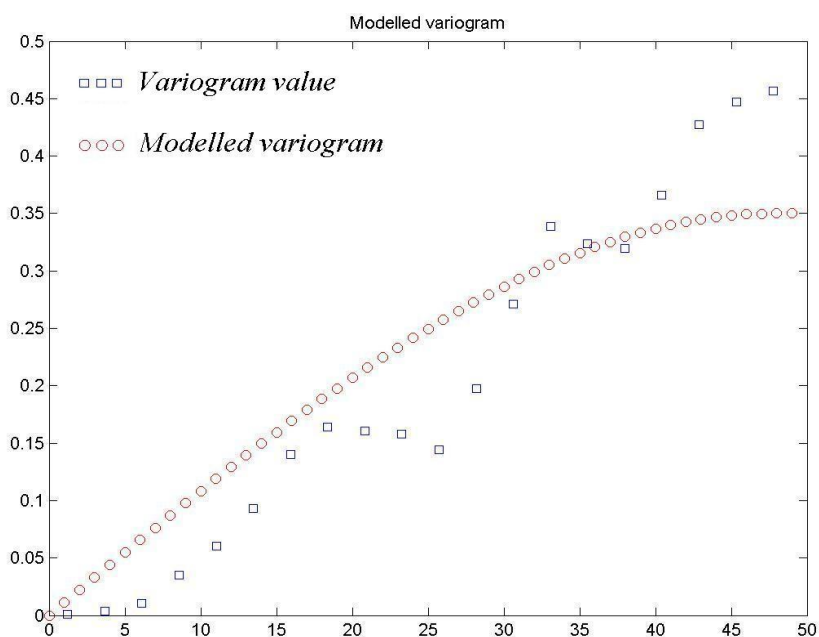
9. PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian ini berlangsung sejak rencana penelitian ini disetujui. Semua pembuatan perangkat lunak dan pengolahan data dilakukan di laboratorium Fisika Komputasi, Kelompok Keahlian Fisika Bumi FMIPA Universitas Riau. Sebelum pembuatan perangkat lunak dan

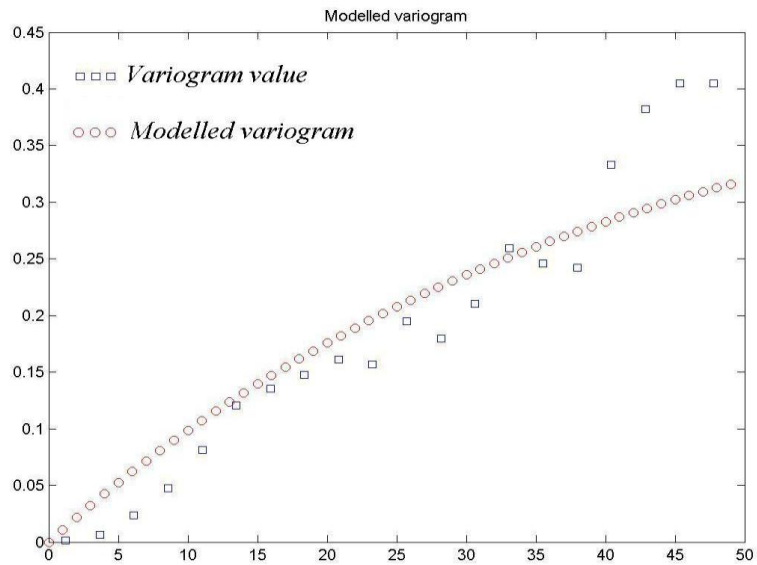
pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan penelusuran pustaka dari hasil-hasil penelitian terdahulu, terutama yang berhubungan dengan teori inversi seismik, perambatan gelombang seismik dan sifat-sifat fisis batuan yang mempengaruhinya. Untuk mengkomunikasikan hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, secara bertahap akan dipublikasikan melalui jurnal ilmiah dan dipresentasikan pada berbagai seminar, poster, dan konferensi ilmiah dalam skala lokal, nasional dan internasional.

10. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data/*grid* observasi merupakan data masukan untuk mengestimasi nilai suatu *grid* yang ditentukan secara *random*. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya pada metode penelitian, data observasi terdiri dari data sumur dan data yang telah diestimasi. Dari data observasi ini kemudian dilakukan pemodelan variogram. Gambar 10.1 berikut merupakan hasil pemodelan variogram dari data-data observasi pada penelitian ini.

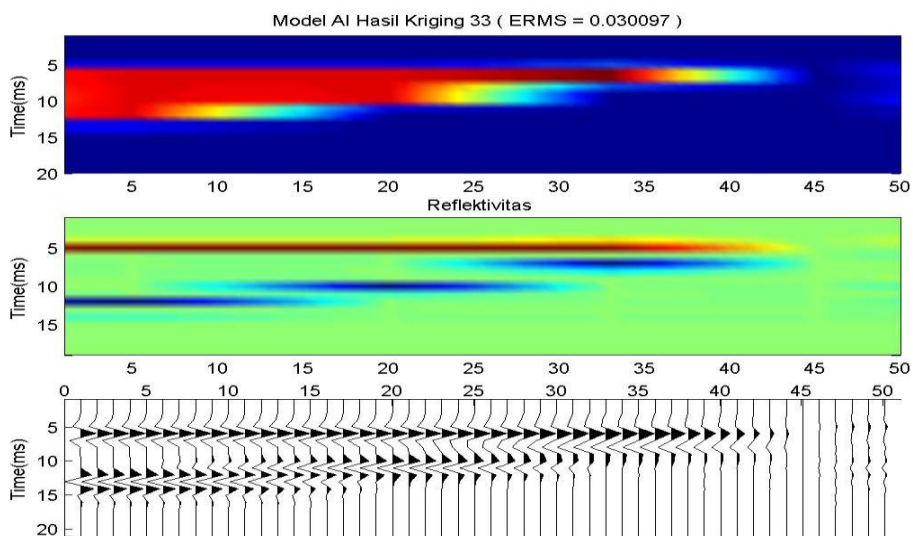


Gambar 10.1. Model *spherical* hasil pemodelan variogram



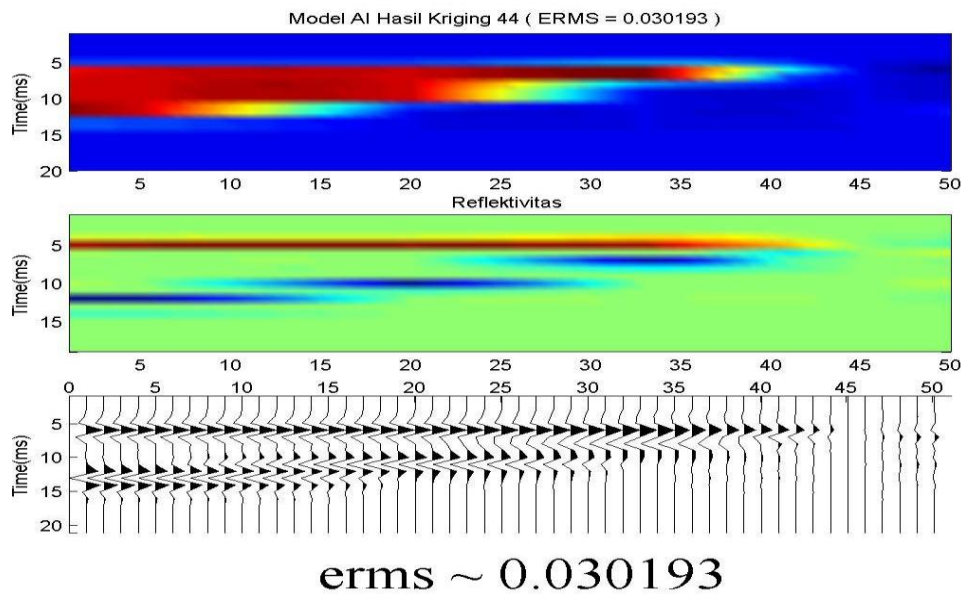
Gambar 10.2. Model *exponential* hasil pemodelan variogram

Berdasarkan pemodelan variogram kemudian didapatkan harga kovarian yang digunakan untuk pembobotan dan penentuan *grid* estimasi. Pemodelan terus berlanjut hingga semua *grid* terisi. Gambar 10.3 berikut merupakan contoh hasil simulasi/pemodelan.



Gambar 10.3. Contoh hasil pemodelan

Dapat dilihat bahwa pemodelan memberikan model dengan bentuk struktur *pinch-out*, sebagaimana bentuk *true model*. Bentuk *pinch-out* ini didapat pada metode *simple kriging* dan *ordinary kriging* yang digunakan pada penelitian ini. Gambar 10.4 adalah contoh model yang dihasilkan pada metode *simple kriging* dan *ordinary kriging* dengan model variogram *spherical* maupun *exponential*. Contoh model *simple kriging* dengan model *spherical*



Gambar 10.4. Model *simple kriging* dengan model *spherical*

11. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dipelajari beberapa metode inversi seismik untuk menentukan nilai impedansi akustik. Berdasarkan pemahaman dari berbagai metode inversi seismik yang ada seperti metode inversi model based, metode inversi bandlimited, metode inversi terbatas (*constraint*), dan inversi sparse spike secara linier *programming* dan maksimum *likelihood*. Pada penelitian ini metode inversi SGS dikembangkan karena mempunyai kriteria kesalahan terkecil

disamping metode ini mampu memperhitungkan sebaran data dan mengcover jangkauan dari frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi pada data seismik.

- Dengan menggunakan metode *kriging*, estimasi *grid* pada pemodelan dilakukan berdasar parameter-parameter statistik dari data observasi, sehingga efek *clustering* dari data observasi dapat dikurangi.
- Pada metode *Sequential Gaussian Simulation (SGS)*, estimasi *grid* dilakukan secara *random* pada tiap simulasi. Langkah ini dilakukan untuk menghindari *clustering* pembobotan data observasi serta memberikan kemungkinan untuk menghasilkan model yang relatif lebih baik pada tiap simulasi.

12. LANGKAH PENELITIAN SELANJUTNYA

. Membuat model inversi dengan model *simple kriging* dengan model *spherical* (*erms* minimal), membuat model *simple kriging* dengan model *spherical* (*erms* maksimal). Membuat model *simple kriging* dengan model *exponential* (*erms* minimal) dan model *simple kriging* dengan model *exponential* (*erms* maksimal). Membuat model *ordinary kriging* dengan model *spherical* (*erms* minimal) dan model *ordinary kriging* dengan model *spherical* (*erms* maksimal). Membuat model *ordinary kriging* dengan model *exponential* (*erms* minimal) dan model *ordinary kriging* dengan model *exponential* (*erms* maksimal). Validasi dan menganalisa model-model dalam *recover true model* dan simulasi pada tiap model yang dilakukan.

REFERENSI

- Andrés E. Mantilla, A.E, Nur.A M, Phan. V., 2001 : Prediction of Petrophysical Properties by Simultaneous Inversion of Seismic and Production Data, SRB Annual Meeting.
- Aki, K., and Richards, P. G., 2002 : Quantitative Seismology: Second edition. USA : University Science Book.
- Bracewell, R., 1965 : The Fourier Transform and Its applications, 381 pp., McGraw Hill, New York.
- Castagna, J. P., S. Sun, and R. W. Siegfried., 2003 : Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons, *Leading Edge*, 22, 120– 127.
- Carcione, J. M., 1993 : Seismic modeling in viscoelastic media: *Geophysics*, 58, 110-120.
- Cooke, D. A., and Schneider, W. A., 1983 : Generalized linear inversion of reflection seismic data: *Geophysics*, 48, 665-676.
- Constantinides, A., 1987. *Applied Numerical Methods with personal computers*. McGraw-Hill Book Co.
- Dubrule, O., 2003, *Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Models*, Society of Exploration Geophysicist, European Association of Geoscientists and Engineers
- Dorsel, D., La Breche, T., 1997, *Kriging, Enviromental Sampling and Monitoring Primer*
- Dimri, V., 1992 : Deconvolution and inverse theory, Aplication to geophysical problem, Elsevier Science publishers B.V
- Draper, N. R. and Smith, H., 1981 : *Applied regression analysis*: John Wiley & Sons, Inc.
- Foster M. S., Nunn, K.R., Lewis, S.A. and Reynolds, D.J., 1997 : Zero-phasing seismic data without wells in offshore West Africa: reducing uncertainty and variability of the wavelet: *Geophysics*, 62, 352-361.
- Ganley, D. C., 1981 : A method for calculating synthetic seismograms which include the effects of absorption and dispersion: *Geophysics*, 46, 1100-1107.
- Godfrey, R., Muir, F. and Rocca, F., 1980 : Synthetic seismic section impedance with Markov Chain, *Geophysics*, 45, 1119-1147. 6.
- Gordon , R.B, and Davis, L.A, 1968 : Velocity and attenuation of seismic waves in imperfectly elatic rock, *J. Geophys. Res.*, 73, 3917-3935.

- Goupillaud, P.L., 1961 : An approach to inverse filtering of near surface effect from seismic records, *Geophysics*, 26, 754-760.
- Guo, J., and Y. Wang., 2004 : Recovery of a target reflection underneath coal seams, *J. Geophys. Eng.*, 1, 46–50.
- Hampson, D., 1986 : Inverse velocity stacking for multiple elimination, *Jurnal of the CSEG*, V.22, p. 44-55.
- Hearn, D. J. and Krebs, E. S., 1990 : On computing ray-synthetic seismograms for anelastic media using complex rays, *Geophysics*, 55, 422-432.
- Huang, X, 1995 : A data driven approach fpr description of reservoir properties, Ph.D thesis, The university of Tusla.
- Iliescu, V. and Margrave, G. F., 2002 : Amplitude restoration in Gabor deconvolution: CSEG 2002 Annual Meeting, Calgary, Alberta.
- Knopoff, L.Q, 1964 : *Rev. Geophys. Space Phys.*, 2, 625-660.
- Krebs, E. S., 1984, On the reflection and transmission of viscoelastic waves, some numerical results, *Geophysics*, 49, 1374-1380.
- Kunetz, G., 1961 : *Essai danalysis de traces seismiques*, *Geop. Prosp.*, 9, 317-314.
- Leinbach, J., 1996 : Wiener spiking deconvolution and minimum-phase wavelets: a tutorial, *Deconvolution 2*, *Geophysics Reprint Series*, No. 17.
- Lavergne, M., and Willm,C., 1977 : Inversion of seismograms and pseudovelocity logs: *Geophys. Prosp.*, **25**, 231–250.
- Lee, M. W., and Suh, S. Y., 1985 : Optimization of one-way wave equations: *Geophysics*, 50, 1634- 1637.
- Lines, L. R., and Treitel, S., 1991 : Wavelets, well–logs, and Wiener filters: *First Break*, 3, 9 – 14.
- Lindsey, J. P., 1987 : Measuring wavelet phase from seismic data: SEG 1987 fall distinguished lecture.
- Lines, L. R., and Treitel, S., 1984 : Tutorial: A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems: *Geophys. Prosp.*, **32**, 159–186.
- Lindseth, R. O., 1979 : Synthetic sonic logs—a process for stratigraphic interpretation: *Geophysics*, **44**, 3–26.
- Lines, L. R. and Ulrych, T. J., 1977 : The old and the new in seismic deconvolution and wavelet estimation: *Geophysical Prospecting*, 25, 512-540.

- Lorenzen, R.J.L., 2000 : Inversion of multicomponent time-lapse seismic data for reservoir characterization of vacuum field, New Mexico, Ph.D Thesis, Colorado School of Mines.
- Margrave, G. F., 2003 : Gabor deconvolution, extending Wiener's method to nonstationarity: Recorder, Vol. 28, No. 10, 5-12. 107
- Matlab 6.5, 2002 : Reference Manual, www.matwork.com.
- Margrave, G. F., 2001 : Methods of seismic data processing, Geophysics, 657 Course Lecture Notes, University of Calgary.
- Ma, X, 2001 : A constrain global inversion method using an overparametrized schema, Application to poststack seismic data, Geophysisc, 66, 613-626.
- Margrave, G. F., 1998 : Theory of nonstationary linear filtering in the Fourier domain with application to time-variant filtering: Geophysics, 63, 244-
- Mavko, G., Mukerji, T., Dvorkin, J, 1998 : The rock physics handbook, Cambridge University Press.
- Matson, K.H, 1996 : The relationship between scattering theory and the primaries and multiples of reflection seismic data, Jurnal of Seismic Exploration, 5, 63-78.
- Meju, A.M. (1994) : Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice, SEG, USA
- Menke, W., 1984 : Geophysical data analysis: discrete inverse theory: International geophysics series, 45, Academic press.
- Nur, A., Marion, D. and Yin, H., 1991, Wave velocities in sediments, in Shear Waves in Marine Sediments, J. M. Hovem, M. D. Richardson, and R. D. Stoll, eds.
- O'Connell, R. J. and B, Budiansky, 1978 : Measures of dissipation in viscoelastic media: Geophysical Research Letters, 5, 5-8.
- Oldenburg, D. W., Scheuer, T., and Levy, S., 1983 : Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms: Geophysics, 48, 1318 - 1332.
- Palmer, D., 1980: The generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 104 p.
- Ricker, N., 1953 : The form and laws of propagation of seismic wavelets, Geophysics, 18, 10-40.
- Robinson, E. A., 1983 : Seismic velocity analysis and the convolutional model, International Human Resources Development, Boston, 169-254.

- Robinson, E. A., and S. Treitel, 1980 : *Geophysical signal analysis*: Prentice–Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Robinson, E. A., 1967 : Predictive decomposition of time series with application to seismic exploration: *Geophysics*, 32, 418–484.
- Russell, B., Hampson, D., 1998, *Practical Geostatistics*
- Russel, B.H, 1998 : Introduction to Seismic Inversion Methods, SEG, USA
- Russell, B. and Hampson D, 1994 : *Seismic inversion*: SEG course notes.
- Russell, B., and Hampson, D., 1991 : Comparison of post-stack seismic inversion methods: 61st Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 876 - 878.
- Sain, S.R., 2004, *Geostatistical Data and Variogram Models*, Departement of Mathematics University of Colorado at Denver.
- Sheriff, R.E., 1984 : Encyclopedc dictionary of exploration geophysics, second edition, Society of ExplorationGeophysicists, Tulsa.
- Sheriff,R.E. and Geldart,L.P, 1995 : Exploration seismology, Cambridge University press.
- Sherwood, J.W.C., and Trorey, A.W., 1965 : Minimum phase and related properties of the response of a horizontally stratified absorptive earth to plane acoustic waves, *Geophysics*, 30 (2), 191-197.
- Tarantola, A., 1984 : Inversion of seismic reflection data in the acoustic approximation: *Geophysics*, **49**, 1259–1266.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., and Keys, D. A., 1976, *Applied Geophysics*: Cambridge, Cambridge University Press, 841 p.
- Toksoz, M. N., Cheng, C. H. and Timur, A., 1976 : Velocities of seismic waves in porous rocks, *Geophysics*, 41, 621-645.
- Wang, Z and Nur, A., 1992 : Seismic and acoustic velocities in reservoir rocks, Theoretical and model studiesm, Volume 2, Society of Exploration Geophysicist,
- Wuenschel, P.C., 1960 : Seismogram sythesis including multiples and transmission coefficients, *Geophysics*, 25 (1), 106-129.
- Yilmaz, O., 2001, *Seismic Data Analysis, VOL II*: Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma,

CURRICULUM VITAE/RIWAYAT HIDUP

1. Identitas Diri:

Nama / NIP : Dr. Muhammad Edisar, S.Si, M.T.
NIP : 196821021994031002
Tempat/Tanggal Lahir : Silayang , 21 Februari 1968
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat Rumah : Perum Grahabinawidya UNRI Blok B 93 Jl Garuda Sakti
Kel.Simpang Baru Pekanbaru- HP : 08121405086 : E-mail:
edisar_m@yahoo.com
Alamat Kantor : Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru
Kampus Bina Widya Km. 12,5 Sp. Baru, Pekanbaru 28293
Tel./Fax. +62 (0) 761 63273 / 63279

2. Pendidikan Sekolah

No.	Nama Sekolah	Masuk	Lulus
1.	SD Negeri Silayang	1977	1982
2.	MTS Silayang	1982	1985
3.	SMA Negeri Sungai Pakning Kab.Bengkalis	1985	1988

3. Pendidikan Perguruan Tinggi.

No.	Lulusan	Tahun
1.	Doktor dalam Bidang Geofisika (Dr) , pada Institut Teknologi Bandung, Indonesia	2007
2.	Magister Teknik Geofisika (M.T) , pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB Bandung	2000
3.	Sarjana bidang Fisika (S.Si) , pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Riau Pekanbaru (UNRI)	1993

4. Pengalaman Bekerja:

No.	Pengalaman Kerja	Tahun
1.	Dosen pada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau di Pekanbaru	1994 – sekarang
2.	PT.Indah Kiat Pulp and Paper, Kontrol Proses (DCS), Pulp Making-Desa Pinang Sebatang-Perawang-Indonesia	1993 – 1994

5. Kursus dan Pelatihan dan Seminar:

No.	Nama Kursus/ Pelatihan	Tahun
1.	Technical Assistance Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru	28 Maret 2001

2	Lokakarya Penyusunan Proposal Penelitian Dosen Muda Ilmu Fisika, FMIPA UNRI-HEDS	30 April 2001
3	Workshop on Software Programming for Visualization of Interactive Lecture in Physisc Teaching Process, HEDS – JICA	09-12 Agustus 1999
4	Kursus singkat Technical Assistance dalam Bidang Energi Surya LPIU-DUE Project UNRI, FMIPA UNRI	12-15 November 2000
5.	Technical Assistance “Microprosesor”, DUE Project FMIPA UNRI	23-25 April 2001
6.	Penlok pemanfaatan peralatan laboratorium eksperimen jurusan fisika FMIPA UNRI, FMIPA UNRI	24-28 Juli 2000
7.	Pre-Departure English Traing, Pusat Bahasa ITB	Mei –Juli 1997
8.	Kursus semester Break in advanced course of Ground Penetrating Radar, Seismic, Geoelectricity, Magnetic and Well Logging Methods, Fisika Bumi ITB.	9-16 Agustus, 2004
9.	Pelatihan sistim akuisisi data dari sensor ke komputer dan pemrogramannya, Jurusan Fisika FMIPA UNRI – HEDS Project	17-30 November 1999
10.	Kursus Pemrograman dengan C++ di Lab Komputasi Fisika ITB Bandung	September-Oktober 2001
11.	Kursus Pemrograman dan Hadware Komputer di Comlab ITB.	Pebruari-Mei 2002
12.	Short course of Wave Physic di Universitas Sumatera Utara Medan	17 – 26 Juli 1995
13.	Seminar on Instrumentation and Measurement, MIPA UNRI – HEDS USAID	28-29 April, 1995
14.	Miskonsepsi dalam Pengajaran Fisika Dasar, MIPA UNRI- HEDS USAID	29 mei s/d 1 Juni 1995
15.	Short Course on advanced Statistical Physic, MIPA UNRI- HEDS USAID	4 Juli s/d 13 Juli 1994
16.	Electronic Laboratory Training and Troubleshooting, MIPA UNRI- HEDS USAID	10 – 15 JULi 1995
17.	Short Intensive Course on Nuclear Physics, MIPA UNRI-HEDS USAID	Maret – April 1996
18.	Workshop on Physic Laboratory Management, MIPA UNRI –HEDS USAID	09 – 13 September 1996
19.	Seminar on Computational Physic, Jurusan Fisika MIPA UNRI – HEDS USAID	4-8 November 1996
20.	22 nd Scientific Annual Meeting of The Association of Indonesian Geophysicist (HAGI), at sasana budaya Ganesa ITB	16 – 17 Oktober 1997
21.	Biodiversity Conservation Project, ekspose potensi taman nasional gunung halimun dan pemanfaatannya secara berkelanjutan, puslitbang Biologi-LIPI, JICA dan PHPA Bandung.	26 Maret 1999
22.	Technical Assistance pengelanan Instrumentasi Elektronika untuk Industri, Jurusan Fisika FMIPA – UNRI – LPIU DEU Project UNRI	28 JUnu – 01 Juli 1999

23.	Seminar – Exhibition & Short Course, The Latest Development of Seismic Technology in the Oil and Gas Exploration, Magister Program of Geophysical Engineering & Earth Physics- ITB	28 September – 6 Oktober 1999
24.	Temu Wicara Nasional dan Workshop “ Membangun Konsep Entrepreneur untuk Eksplorasi Sumber Daya Alam Indonesia dalam Menghadapi Milenium ke -3, Jurusan Teknik Geofisika FIKTM – ITB	3 – 4 Desember 1999
25.	Sains Learning without formula for Teachers Schools (Instructure), Comport Hotel, Dumai-Riau	19-27 Oktober 2007
26.	Physic Learning with Interactive Method Using Information Technology (Instucture)	30 Nov – 3 December 2007
27	Sebagai Instruktur dalam Pelatihan dan pembinaan siswa SMA bidang Geosains se Prpinsi Riau Pelatihan olimpiade sains Nasional Tingkat Propinsi dan Nasional oleh Dinas Pendidikan Propinsi Riau Bekerjasama dengan Jaringan olimpiade Sains Nasional	26 Mei – 3 Juni 2011
28	Seminar Nasional Akses Dunia Tanpa Batas dengan Video Confrence dan e-Office (Pembicara), oleh BPTIK Universitas Riau	21 Desember 2010

6. Paper dan Publikasi

1. **Edisar, M., 2001**, *Monitoring Seismik 4D Untuk karakterisasi sifat reservoir lapangan minyak produksi*, Semirata PTN Wilayah Barat, Lampung, Indonesia.
2. Edisar, M, 2002, *AVO Analysis by Simultaneous P-P and P-S Weighted Stacking Applied to 3C-3D Seismik Data*, Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia, Jurusan fisika FMIPA Univ.Riau.
3. **Edisar, M., (2003)**, *Strategi Eksplorasi dan Eksploitasi Hidrokarbon Menggunakan metode seismik AVO*, Seminar Staff Fisika ITB, 17 Feb. 2003, Bandung, Indonesia.
4. **Edisar. M, 2002**, Optimasi cross-equalisasi seismik time-lapse (4-D) untuk monitoring dan karakterisasi sifat dinamika reservoir lapangan “mory”, Proceeding, The HAGI 27th annual meeting-Batu-Malang, Oktober, 21st-23rd
5. **Edisar.M, Hendrajaya.L., Handayani.G., Fauzi.U., Yarmanto., 2004**, *Seismik and rock physics diagnostic to predict porosity and fluids saturation*, Proceeding, The HAGI 29th annual meeting-Yogyakarta 5-7 Octobe 2004. pp 10-18
6. **Edisar.M, Hendrajaya.L., Handayani.G., Fauzi.U., Yarmanto, 2004**, *Predicting porosity and saturation from acoustic velocities based on rock physics diagnostic*, Proceeding, Simposium Nasional & Kongress VIII, IATMI, (29 Nov-01 Des), Jakarta.
7. **Edisar.M, Hendrajaya.L., Handayani.G., Fauzi.U., Yarmanto., Ngkoimani.L., 2005**, *4D Seismik and Rock Physics Modeling Responses to Reservoir Steam flood*, Proceedings, Indonesian Petroleum Association Thirtieth Annual Convention & Exhibition, Jakarta, August 30 – September. IPA05-G-006, pp.11-23.
8. **Edisar. M, Hendrajaya.L., Handayani.G., Fauzi.U., Yarmanto., Ngkoimani.L., 2005**, *4D Seismik modeling and inversion based on rock physic study*, Proceedings JCS – The 30th HAGI, The 34th IAGI, and The 14th PERHAPI, Annual Conference and Exhibition, JCS2005-T220, pp. 617-628.
9. **Edisar. M, Hendrajaya.L, Handayani.G, Fauzi.U and Yarmato, (2005)**, *Quantitative model for the rate of change of the elatic moduli of dry sandstones with effective pressure*, Asian Physic Symposium, Bandung Indonesia, December 7-8, 2005, pp. 99-105.
10. **Edisar. M, Hendrajaya.L, Handayani.G, Fauzi.U and Yarmato, (2005)**, *Recovery processes evaluation on seismic velocities and acoustic impedance of sandstone reservoirs*, Asian Physic

7. Hibah Penelitian/Research Grants:

1. Edisar. M, 1996, Pengiraan Penerimaan Dosis Radiasi Dari Berbagai Bahan Bangunan Oleh Penghuni Dengan Menggunakan Model Ruangan, Dana OPF Universitas Riau.
2. Rustadi dan Edisar.M, 1999, Pembuatan dan Karakterisasi Sel Photoakustik Non-Resonan Untuk Sensor Gas Etilen (C_2H_4), Dana Penelitian P2IPT, Jurusan Fisika Univ. Lampung, Indonesia.
3. Edisar. M, 2000, Identifikasi Aliran Akuifer Untuk Analisis Suplai Air Tanah Dengan Aplikasi Metode Tahanan Jenis.,Dana Penelitian Proyek Pengembangan Diri (PPD) HEDS Project.
4. Edisar, M, 2001, Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Identifikasi Kontaminasi Rembesan Air Limbah Tempat Pembuangan Sampah Di Bawah Tanah. Dana Penelitian Proyek Pengembangan Diri (PPD) HEDS Project.
5. Edisar. M, 2002, Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Monitoring Rembesan Polutan Bawah Tanah Menggunakan Resist 2 Dimensi Inversi, Dana Penelitian Lembaga Penelitian Universitas Riau.
6. Edisar, M, 2008, Aplikasi Metode Tahanan Jenis untuk eksplorasi air tanah di pulau-pulau kecil atau daerah yang sulit air tawar. Hibah Penelitian Andalan Universitas Riau, Lembaga Penelitian Universitas Riau.
7. Edisar.M dan Defrianto, (2008), Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Untuk Estimasi Kecepatan Gelombang Seismik Kompresi (P) Pada Lapisan Batuan Bawah Permukaan.Dana Penelitian SPP dan DPP Universitas Riau.
8. Edisar.M dan Defrianto, 2009, Pengembangan Metode Inversi Seismik Untuk Estimasi Perlapisan Impedansi Akustik Bawah Permukaan Bumi Secara Rekursif, Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahap I, Dikti, LPM Universitas Riau
9. Edisar.M dan Juandi.M (2009), pemodelan numerik dan simulasi tekanan reservoir minyak bumi produksi menggunakan metode *alternting direction implicit (adi)*, Hibah Fundamental Dikti, LPM Universitas Riau
10. Edisar.M dan Defrianto, 2010, Pengembangan Metode Inversi Seismik Untuk Estimasi Perlapisan Impedansi Akustik Bawah Permukaan Bumi Secara Rekursif, Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahap II, Dikti, LPM Universitas Riau
11. Edisar.M, (2011), Desain dan Pembuatan Perangkat Lunak Metode Estimasi Impedansi Akustik (IA) Menggunakan Metode Geostatistik Simulasi Gaussian Sequensial (SGS), Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahap I, Dikti, LPM Universitas Riau
12. Edisar.M, Riad Syech dan Defrianto, (2011), Penyelidikan Sifat Fisis Lapisan Tanah Bawah Permukaan Bumi Bedasarkan Data Kecepatan Gelombang Seismik Dari Data Kejadian Gempa Bumi Sebagai Precursor dan Mitigasi Bencana, Dana Penelitian Hibah Berbasis Laboratorium Universitas Riau.

8. Pengalaman Profesi

1. **Tenaga Ahli dan Tim Leader** dalam Pekerjaan Survei potensi air bawah tanah **LOKASI** Kec.Concong dan Kuala Indragiri Kab.Indragiri Hilir, Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten Indragiri Hilir Propinsi Riau, Tahun 2009.
2. **Tenaga Ahli dan Tim Leader** dalam Pekerjaan Survey Air Tanah dengan Geolistrik **LOKASI** Desa Meranti Kecamatan Pangkalan Kuras Desa Rawang Empat Lubuk Keranji Kecamatan Bandar Petalangan Kabupaten Pelalawan Propinsi Riau, Dinas Pertambanga dan Energi Kabupaten Pelalawan Propinsi Riau , Tahun 2009
3. **Tenaga Ahli dan Tim Leader** dalam Pekerjaan Jasa Konsultasi Perencanaan Detail Engineering (DED) Pengeboran Air Tanah Dalam **LOKASI** Desa Sei. Cingam dan Desa Makeruh KTM Pulau Rukat Kecamatan Rukat Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau, Dinas Transmigrasi dan Pemukiman Kabupaten Bengkalis Propinsi Riau, Tahun 2010
4. **Tenaga Ahli dan Tim Leader** dalam Pekerjaan Penelitian Sumber Air Bawah Tanah Menggunakan Geolistrik **LOKASI** Desa Tanjung Melayu Kecamatan Kuala Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau, Dinas Trasmigrasi dan Pemukiman propinsi Riau, Tahun 2010
5. **Tenaga Ahli dan Tim Leader** dalam Pekerjaan Survey Peningkatan Konservasi Daerah Tangkapan Air dan Sumber-Sumber Air Tanah Kabupaten Indragiri Hilir Propinsi Riau Tahun Anggaran 2010 **LOKASI** Kecamatan Tanah Merah Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau, Dinas Pertambanga dan Energi Kabupaten Indragiri Hilir Propinsi Riau, Tahun 2010
6. **Tenaga Ahli dan Tim Leader** dalam Pekerjaan Survey Peningkatan Konservasi Daerah Tangkapan Air dan Sumber-Sumber Air Tanah Kabupaten Indragiri Hilir Propinsi Riau Tahun Anggaran 2011 **LOKASI** Kecamatan Reteh Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau, Dinas Pertambanga dan Energi Kabupaten Indragiri Hilir Propinsi Riau, Tahun 2011

9. Aktivitas di asosiasi:

- Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI),

10. Pengalaman kursus dalam topik yang berkaitan dengan proposal penelitian

- Pengolahan Data Seismik 3D dan 4D , PT. CPI, Rumbai 2000.

11. Pengalaman penelitian yang berkaitan dengan topik penelitian:

- Edisar.M dan Defrianto, 2009, Pengembangan Metode Inversi Seismik Untuk Estimasi Perlapisan Impedansi Akustik Bawah Permukaan Bumi Secara Rekursif, Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahap I, Dikti, LPM Universitas Riau
- Edisar.M dan Defrianto, 2010, Pengembangan Metode Inversi Seismik Untuk Estimasi Perlapisan Impedansi Akustik Bawah Permukaan Bumi Secara Rekursif, Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahap II, Dikti, LPM Universitas Riau

Pekanbaru, September 2011

Dr. Muhammad Edisar, S.Si, MT.
Nip. 196821021994031002