

INVERSI IMPEDANSI AKUSTIK MENGGUNAKAN *BASIS PURSUIT INVERSION* PADA DATA 3D SEISMIC LAPANGAN BOONSVILLE, TEXAS

Gading Nur Rahmat Rifa'i¹, Dr. Ir. Agus Laesanpura, M.S.², Ruhul Firdaus, S.T, M.T.¹

¹*Program Studi Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera*

²*Jurusan Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung*

ABSTRAK

Metode seismik adalah metode geofisika yang mampu menghasilkan citra kenampakan struktur bawah permukaan bumi dengan menggunakan prinsip perambatan gelombang. Metode seismik inversi impedansi akustik adalah suatu proses konversi dari data seismik menjadi data impedansi akustik yang merupakan sifat dasar suatu batuan. Lapangan Boonsville telah memproduksi gas dan minyak yang berasal dari reservoir *conglomeratic sandstone*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan mengaplikasikan metode *basis pursuit inversion* pada data real serta memetakan penyebaran dari batuan *sandstone*. Pada penelitian kali ini, inversi impedansi akustik dilakukan pada data lapangan Boonsville. Pada penelitian kali ini inversi reflektifitas menggunakan metode *basis pursuit inversion* dan inversi impedansi akustik dengan memanfaatkan algoritma *model based inversion* telah dilakukan. Penampang reflektifitas yang dihasilkan memiliki error kalkulasi sebesar $\pm 0,025$. Berdasarkan impedansi akustik yang dihasilkan, diduga batuan pasir memiliki nilai impedansi akustik berkisar 34.000 sampai 38.000 (ft/s)*(g/cc). Penampang impedansi akustik yang dihasilkan telah divalidasi di sumur validasi dan cenderung lebih detail serta dapat memperlihatkan penyebaran batuan pasir secara keseluruhan.

Kata Kunci : Metode Seismik, Inversi Seismik, Impedansi Akustik, *Basis Pursuit Inversion*, *model based inversion*.

1. Pendahuluan

Metode seismik adalah metode geofisika yang umumnya digunakan pada eksplorasi hidrokarbon. Metode ini dapat menghasilkan citra kenampakan

struktur di bawah permukaan bumi dengan menggunakan prinsip perambatan gelombang seismik. Metode seismik ini paling sering digunakan dalam eksplorasi hidrokarbon, karena

mampu memberikan gambaran struktur bawah permukaan bumi dengan tingkat keakuratan yang lebih baik dibandingkan dengan metode geofisika lainnya.

Pada penelitian kali ini, penulis memilih lokasi lapangan Boonsville yang terletak di Wise-Jack, Fort Worth Basin, Texas bagian utara, Amerika Serikat dan merupakan salah satu lapangan penghasil gas terbesar di Amerika Serikat. Lapangan ini memproduksi gas dan minyak yang berasal dari reservoir *conglomeratic sandstone* yang terbentuk pada tingkat Atoka, selama periode Middle Pennsylvanian (Tanakov dan Kelkar, 2000; Hardage dkk, 1996).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan dan persebaran lapisan batuan pasir pada lapangan Boonsville. Metode seismik inversi impedansi akustik adalah suatu proses konversi dari data seismik menjadi data impedansi akustik yang merupakan sifat dasar dari suatu batuan. Apabila data seismik konvensional melihat batuan di bawah permukaan sebagai *interfacing* antar lapisan batuan, maka data impedansi akustik melihat batuan di bawah permukaan sebagai susunan lapisan batuan itu sendiri.

Pada penelitian ini, metode inversi yang digunakan adalah dengan pendekatan "*Basis Pursuit Inversion*" (BPI). Metode BPI ini diperkenalkan oleh Rui

Zhang pada tahun 2008 dalam penelitiannya, dengan melakukan pendekatan pola *dictionary basis* sinyal seismik sehingga dapat dihitung koefisien-koefisien basisnya untuk merekonstruksi koefisien reflektivitasnya.

Metode BPI dapat digunakan tanpa menggunakan informasi data sumur, sehingga dapat digunakan pada area yang tidak memiliki data sumur sama sekali, namun tetap dibutuhkan data sumur sebagai validasi data. Namun, pada penelitian kali ini, dalam prosesnya Metode BPI memanfaatkan data sumur. Dengan korelasi penampang reflektivitas seismik terhadap sumur dan dengan memanfaatkan algoritma dari *model based inversion* untuk mendapatkan penampang impedansi akustik, hal ini diharapkan dapat meningkatkan ketepatan dalam mendefinisikan lapisan zona target.

2. Teori Dasar

2.1 Seismik Inversi

Seismik inversi adalah suatu teknik pembuatan model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai *input* dan data sumur sebagai pengontrol (Sukmono, 2000). Secara garis besar seismik inversi dibagi menjadi dua kelompok, yaitu inversi *pre-stack* dan inversi *post-stack*.

2.2 Model Based Inversion

Metode *model based inversion* adalah salah satu teknik dalam metode seismik inversi impedansi akustik. Prinsip dari metode ini adalah membuat model geologi awal lalu membandingkannya dengan data riil seismik. Hasil perbandingan tersebut digunakan secara iteratif untuk memperbaharui model yang bertujuan untuk menyesuaikan dengan data seismik. Proses iterasi ini dilakukan hingga didapatkan nilai kesalahan terkecil pada perbandingan antara model yang dibuat dengan data seismik.

2.3 Basis Pursuit Inversion

Model konvolusi sederhana untuk seismik *trace* adalah hasil dari konvolusi antara *wavelet* dengan deret reflektivitas ditambah dengan *noise*. Dalam bentuk matrix, persamaan dari model konvolusi tersebut dapat ditulis :

$$d = Gm + n \quad (1)$$

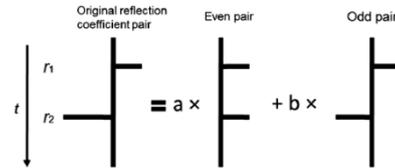
Dimana d adalah data seismik, m adalah deret reflektivitas, G adalah matriks *wavelet* kernel dan n adalah *noise*.

Apabila bumi dimodelkan sebagai lapisan, maka koefisien refleksi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$r(t) = \sum_{k=1}^{NL} r_k \delta(t - t_k) \quad (2)$$

Dimana, NL adalah jumlah lapisan, r_k adalah koefisien refleksi dari batas lapisan.

Setiap pasangan reflektor dapat digambarkan sebagai penjumlahan dari pasangan *impulse* genap (r_e) dan *impulse* ganjil (r_o) (Bork dan Wood, 2001).



Gambar 1. Ilustrasi dari setiap pasangan reflektor

Jika koefisien refleksi pada bagian atas dan bawah reflektor dari lapisan tipis adalah c dan d , maka pantulannya dapat diwakili oleh dua fungsi *impulse*, yaitu $c \delta(t)$ dan $d \delta(t + n\Delta t)$ dimana $n\Delta t$ adalah ketebalan waktu dari lapisan tipis dan Δt adalah *sampling rate* dari seismik. Dengan begitu, kita dapat persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} r_e &= \delta(t) + \delta(t + n\Delta t); \\ r_o &= \delta(t) - \delta(t + n\Delta t) \end{aligned} \quad (3)$$

$$c \delta(t) + d \delta(t + n\Delta t) = a r_e + b r_o \quad (4)$$

Dimana r_e adalah koefisien reflektivitas genap, r_o adalah koefisien reflektivitas ganjil, a dan b adalah koefisien.

Dalam hal ini, ketebalan lapisan ($n\Delta t$) belum diketahui, jadi n bervariasi menurut rentang *priori information*. Oleh karena itu, kita akan membuat

ketebalan yang bervariasi dari ketebalan minimum sampai maksimum dari ketebalan minimal. Deret reflektivitas dapat digambarkan sebagai penjumlahan lapisan dengan m adalah urutan lapisan dan M adalah jumlah dari lapisan (Zhang dan Castagna, 2011) :

$$r(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(a_{n,m} * r_e(t, m, n, \Delta t) + b_{n,m} * r_o(t, m, n, \Delta t) \right) \quad (5)$$

Ketika persamaan diatas dikonvolusikan dengan *wavelet*, maka kita akan mendapatkan persamaan :

$$s(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(a_{n,m} * Wre(t, m, n, \Delta t) + b_{n,m} * Wro(t, m, n, \Delta t) \right) \quad (6)$$

Algoritma *basis pursuit inversion* yang digunakan pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan titik optimum dari parameter x ($a_{n,m}, b_{n,m}$) dengan cara meminimalkan norm 12 dan norm 11 secara bersamaan. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\min \|s - D_s x\|_2 + \lambda \|x\|_1 \quad (7)$$

Dari persamaan diatas kita mendapatkan solusi persamaan koefisien refleksi yaitu :

$$r = D_r x \quad (8)$$

Dimana r adalah koefisien refleksi.

Tabel 1 : Deskripsi data log yang terdapat pada 4 sumur tersebut.

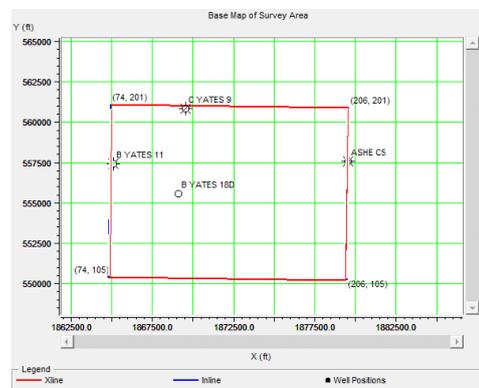
Sumur	P wave	Density	Gamma Ray	Resistivity	Neutron Porosity	SP	Checkshot	Tops
-------	--------	---------	-----------	-------------	------------------	----	-----------	------

3. Data dan Metodologi Penelitian

3.1 Data Penelitian

3.1.1 Data Seismik

Data seismik yang digunakan pada penelitian kali ini adalah data 3D seismik *post-stack migration* pada lapangan Boonsville, Texas bagian utara. Data 3D seismik ini terdiri dari 105-201 *inline* (133 *line*) dan 74-206 *crossline* (97 *line*).



Gambar 2. Peta 3D seismik Boonsville beserta seluruh sumur penelitian dalam koordinat *crossline* dan *inline*.

3.1.2 Data Sumur

Pada daerah penelitian ini terdapat 38 sumur. Dan dari 38 sumur tersebut dipilih 4 sumur untuk digunakan lebih lanjut untuk penelitian, dikarenakan ketersediaan data-data yang diperlukan pada sumur tersebut.

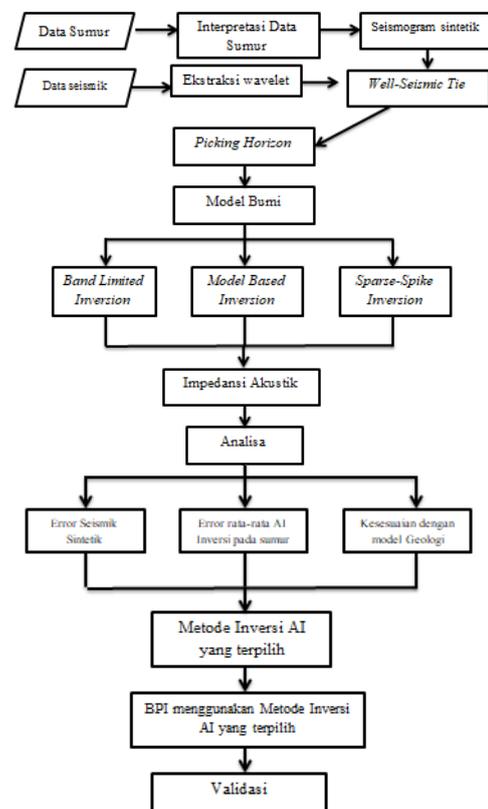
ASHE C5	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
BYates 11	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
BYates 18D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CYates 9	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓

Data log VP pada keempat sumur ini adalah hasil dari transformasi menggunakan persamaan Faust : $P\ wave = C1 \times (depth \times resistivity)^{\frac{1}{6}}$ dimana C1 adalah konstanta. Data log densitas pada sumur ASHE C5 adalah hasil dari transformasi menggunakan persamaan Gardnerr : $Densitas = C1 \times (P - wave)^{0.25}$ dimana C1 adalah konstanta.

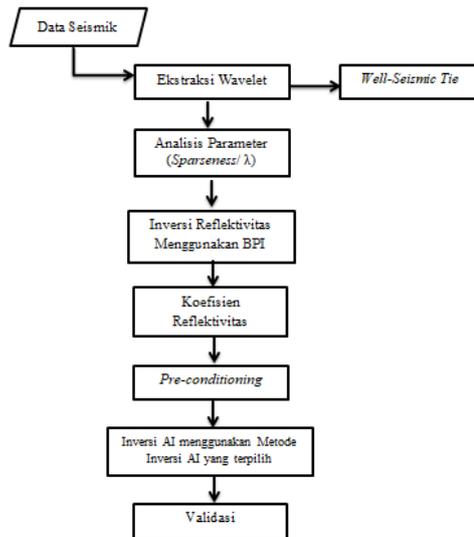
3.2 Alat atau Software

Pada penelitian kali ini, penulis menggunakan dua buah *software* untuk membantu mendapatkan hasil dari penelitian ini. Dua buah *software* tersebut yaitu, Matlab dan Hampson dan Russel Software (HRS).

3.3 Metodologi Penelitian



Gambar 3. Diagram alir pemilihan metode inversi AI.



Gambar 4. Diagram alir inversi *basis pursuit inversion*.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Hasil Pemilihan Metode Inversi Impedansi Akustik

Tabel 2 : Analisis hasil inversi *band limited inversion*, *model based inversion* dan *sparse-spike inversion*.

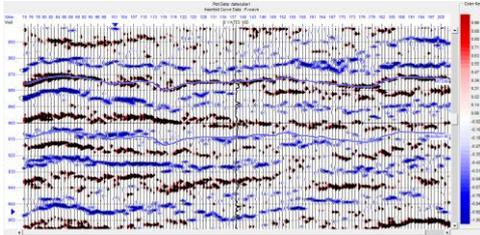
Metode	Parameter analisis		
	Error seismik sintetik	Error rata-rata AI Inversi vs AI Original log (ft/s)*(g/cc)	Kesesuaian dengan model geologi (<i>slicing</i>)
<i>Band limited Inversion</i>	±0.9	5883.98	✓
<i>Model Based Inversion</i>	±0.25	5301.94	✓
<i>Sparse-Spike Inversion</i>	±0.30	5490.88	✓

Dari tabel diatas terlihat bahwa *model based inversion* memiliki error seismik sintetik yang relatif lebih kecil dibandingkan metode *bandlimited inversion* dan *sparse-spike inversion*. Dan *model based inversion* memiliki error rata-rata antara AI hasil inversi

dengan AI original yang relatif lebih kecil dibandingkan dua metode lainnya.. Oleh karena itu, algoritma *model based* dipilih dan digunakan dalam metode *basis pursuit inversion*.

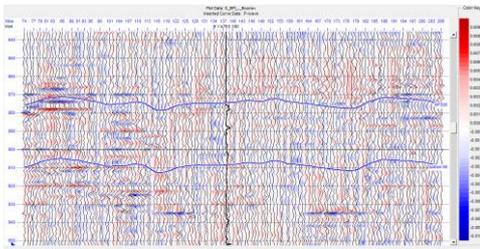
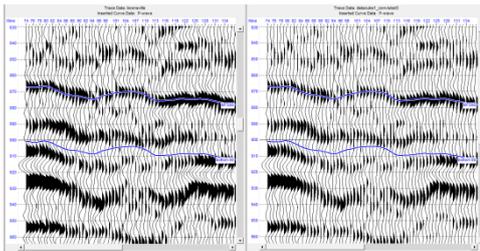
4.2 Basis Pursuit Inversion.

4.2.1 Penampang Reflektivitas Hasil BPI.



Gambar 5. Penampang reflektivitas metode *Basis Pursuit Inversion*.

Gambar diatas adalah penampang reflektivitas dari hasil metode BPI. perhitungan error tiap trace dilakukan terhadap data seismik originalnya.



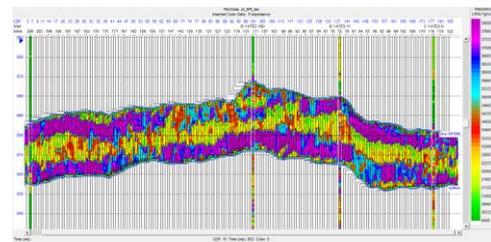
Gambar 6. Penampang error antara seismik hasil BPI dengan seismik Boonsville.

terlihat bahwa error yang didapat tiap *tracenya* adalah $\pm 0,025$. Dari nilai-nilai error tersebut didapatkan error rms yakni sebesar 0,088. Dan nilai-nilai error yang ditampilkan tersebut cenderung memiliki *trend* yang random,

yang diindikasikan bahwa *trend* yang random tersebut adalah noise yang telah di eliminasi.

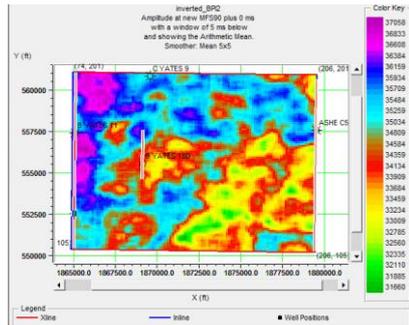
4.2.2 Inversi Impedansi Akustik

Dari hasil koefisien reflektivitas yang telah didapatkan dari proses sebelumnya, dengan memanfaatkan algoritma *model based Inversion* untuk menghasilkan penampang impedansi akustik. Hasil impedansi akustik diunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 7. Penampang impedansi akustik metode *Basis Pursuit Inversion* yang melewati setiap sumur penelitian.

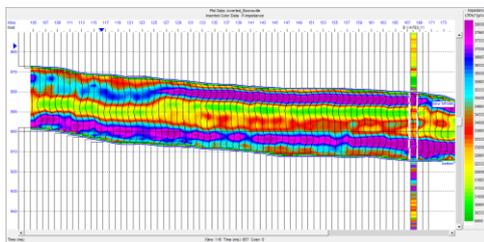
Secara umum, nilai impedansi akustik yang dihasilkan memiliki *trend* yang sama dengan nilai impedansi akustik pada setiap sumur penelitian. Untuk melihat kecenderungan (*trend*) penyebaran nilai impedansi akustik litologi batu pasir dari semua sumur penelitian, maka dilakukan proses *slicing* pada +5ms dari horizon MFS90.



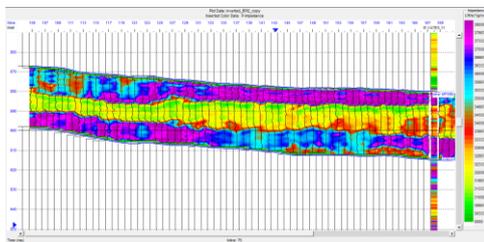
Gambar 8. Slice impedansi akustik.

4.3 Validasi Hasil Impedansi Akustik Metode *Model Based Inversion* dengan Metode *Basis Pursuit Inversion*

Pada tahap ini, dilakukan pada sumur validasi. Hal ini dilakukan untuk melihat apakah impedansi akustik yang dihasilkan oleh metode *basis pursuit inversion* telah sesuai.

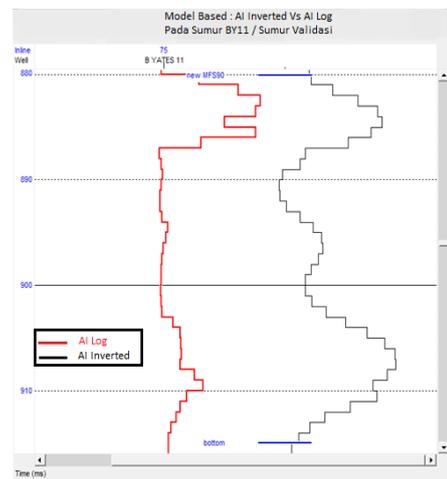


Gambar 9. Penampang impedansi akustik metode *Model Based Inversion* pada sumur B Yates 11.

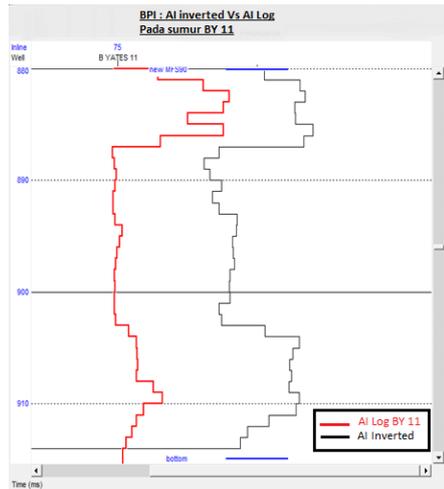


Gambar 10. Penampang impedansi akustik metode *Basis Pursuit Inversion* pada sumur B Yates 11.

Gambar diatas adalah nilai impedansi akustik yang dihasilkan oleh metode *model based inversion* yang ditunjukkan pada **Gambar 9** dan metode *basis pursuit inversion* yang ditunjukkan pada **Gambar 10** pada sumur validasi yaitu B Yates 11. Terlihat pada kedua gambar tersebut memiliki kemenerusan yang relatif sama. Namun pada **Gambar 10** terlihat bahwa metode *basis pursuit inversion* menghasilkan nilai impedansi akustik yang sedikit lebih detail pada sumur penelitian dan secara horizontal dapat memperlihatkan batas antar lapisan yang cenderung lebih baik. Dan dapat juga dilihat hasil inversi Impedansi akustik *model based* dan *basis pursuit inversion* dalam bentuk kurva seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11** dan **Gambar 12**.



Gambar 11. AI Inverted Model Based Vs AI Log pada sumur BY 11



Gambar 12. AI Inverted BPI Vs AI Log pada sumur BY 11

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah penulis lakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Metode Basis Pursuit Inversion (BPI) telah mampu diterapkan pada data real dan mendapatkan penampang reflektivitas dengan nilai error kalkulasi sebesar ± 0.025 .
2. Secara umum, nilai impedansi akustik yang dihasilkan dari tiap-tiap metode inversi dengan nilai impedansi akustik original log memiliki trend yang sama pada setiap sumur penelitian. Walaupun terdapat beberapa nilai impedansi akustik hasil inversi yang cenderung lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan nilai original log pada tiap log.

3. Berdasarkan impedansi akustik yang dihasilkan, diduga batuan pasir memiliki nilai impedansi akustik berkisar 34.000 sampai 38.000 (ft/s)*(g/cc).
4. Impedansi akustik yang dihasilkan dari metode Basis Pursuit Inversion dengan menggunakan algoritma model based inversion dapat memetakan lapisan batu pasir secara keseluruhan.
5. Nilai impedansi akustik yang dihasilkan oleh metode Basis Pursuit Inversion pada sumur validasi memiliki hasil yang sesuai dan cenderung lebih detail.

Daftar Pustaka

- AAMER, A A, 2013. *Thesis 3D Seismic Data Interpretation of Boonsville Field, Texas*, Missouri University
- Badley, M.E, 1985. *Practical Seismic Interpretation*, Prentice Hall.
- Bork, J. dan Wood, L., 2001. *Seismic interpretation of sonic logs*, SEG Expanded Abstracts, 20, 510-513.
- Brown, A.R., 2004. *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data*, 6th edition, AAPG dan SEG, Canada.
- Hampson-Russel software manual, May 1999. *Theory of The Strata Program, Hampson-russel*.

- Hardage, B. A., 1996. *Boonsville 3-D data set*, The Leading Edge, v. 15, no. 7, p. 835– 837, doi:10.1016/0191-8141(85)90048-3.
- Montgomery et al, 2005. *Mississippian Bennett Shale, Fort Worth Basin, North-Central Texas : Gas Shale Play with Multi-Trillion Cubit Foot Potential*, AAPG bulletin, 2006.
- Rizky A P, 2017, *Teori Dasar dan Well-Seismic Tie*, <https://hmgfui.com/2017/08/25/metode-seismik-teori-dasar-dan-well-seismic-tie/>
- Sukmono, S., 1999. *Interpretasi Seismik Refleksi*, Lab. Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sukmono, S., 2000. *Seismik Inversi untuk Karakteristik Reservoir*, Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sukmono, S., 2005, *Fundamental of Seismic Inversion*, Geophysical Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Tanakov, Mikhael Yuri. 1997. *Thesis Integrated Reservoir Description for Boonsville (Texas) Field using 3-D Seismic, Well and Production Data*. The University of Tulsa.
- Widess, M.B., 1973. *How thin is a thin bed*, Geophysics, 38, 1176 – 1180.
- Zhang, R., dan J.P. Castagna, 2001. *Sparse layer reflectivity inversion using basis pursuit decomposition*, Geophysics, 76, R147-R158.