

**SIMULASI PENGARUH PATAHAN TERKUBUR TERHADAP
PENENTUAN LOKASI PATAHAN BERDASARKAN *SECOND
VERTICAL DERIVATIF* DATA GRAVITASI**

Muhammad Ahganiya Naufal^{1*}

¹Universitas Negeri Semarang, Semarang

*Email korespondensi: ahganiya@gmail.com

ABSTRAK

Patahan geologi dapat diidentifikasi salah satunya dengan menggunakan metode gravitasi yaitu perhitungan *Second Vertical Derivative* (SVD). Secara matematis, nilai $SVD = 0 \text{ mGal/m}^2$ merupakan indikasi patahan. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi model densitas patahan normal. Konsep patahan normal pada penelitian ini memiliki karakteristik yaitu densitas batuan *hanging wall* lebih rendah daripada densitas batuan *foot wall*. Data gravitasi sintetis dihasilkan dari model patahan. Pengolahan data gravitasi dengan metoda SVD dilakukan untuk mendapatkan lokasi patahan. Variasi sudut kemiringan patahan dan ketebalan lapisan batuan pengubur dilakukan pada penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi patahan berdasarkan metoda SVD menyimpang dari lokasi patahan seharusnya. Lokasi patahan pada ketebalan lapisan batuan 500 m untuk sudut 30° berada pada lokasi $X = 10.300 \text{ m}$ namun hasil SVD nampak ada lokasi $X = 11.322,54 \text{ m}$. Lokasi patahan pada ketebalan lapisan batuan 500 m untuk sudut 78° berada pada lokasi 11.917 m namun hasil SVD nampak pada lokasi $X = 11.800 \text{ m}$.

Kata kunci: Gravitasi; Patahan; *Second Vertical Derivatif*

PENDAHULUAN

Sesar atau patahan secara geologi adalah sesar sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) satu blok terhadap blok batuan lainnya. Jarak pergeseran tersebut dapat hanya beberapa millimeter hingga puluhan kilometer, sedangkan bidang sesarnya mulai dari yang berukuran beberapa centimeter hingga puluhan kilometer. (Billings, 1946). Patahan menarik untuk dikaji karena banyak berkaitan pada bidang eksplorasi migas, eksplorasi geothermal, eksplorasi mineral, mitigasi bencana dan pembangunan wilayah. Patahan dalam lapangan migas dapat berperan sebagai pengontrol sistem migas (Wijaya dkk., 2012; Makhrani, 2012). Patahan menjadi media bagi mineral (emas) terakumulasi (Kenworthy dan Hagemann, 2007). Patahan mejadi zona permeabel dan sebagai sarana fluida panas untuk mencapai permukaan pada sistem geothermal (Fikri, 2013). Salah satu metoda geofisika yang mampu mengidentifikasi patahan adalah metoda gravitasi dengan perhitungan *Second Vertical Derivative* (SVD).

Nilai *Second Vertical Derivative* (SVD) data gravitasi dapat dihitung dari data gravitasi pengukuran karena gravitasi memenuhi persamaan Laplace (Telford, 1990). Nilai SVD data gravitasi sama dengan negatif total turunan orde 2 horizontal data gravitasi.

$$\nabla^2 g = \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2}\right)$$

Secara diskrit, perhitungan derivatif orde 1 data gravitasi pada arah x dihitung dengan persamaan

$$\frac{dg}{dx} = \frac{\Delta g}{\Delta x} = \frac{g_{x2} - g_{x1}}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan diatas menunjukkan bahwa untuk memperoleh nilai derivatif orde 1 data gravitasi membutuhkan data gravitasi pada pengukuran didekatnya. Sehingga untuk menghitung nilai derivatif orde 2 data gravitasi pada arah x dihitung dengan persamaan

$$\frac{d^2 g}{dx^2} = \frac{\Delta g_{x23}}{\Delta x_{23}} - \frac{\Delta g_{x12}}{\Delta x_{12}} = \frac{g_{x3} - g_{x2}}{x_3 - x_2} - \frac{g_{x2} - g_{x1}}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{d^2 g}{dx^2} = \frac{g_{x3} - 2g_{x2} + g_{x1}}{\Delta x^2} \quad (3)$$

$$\Delta x_{23} = \Delta x_{12}$$

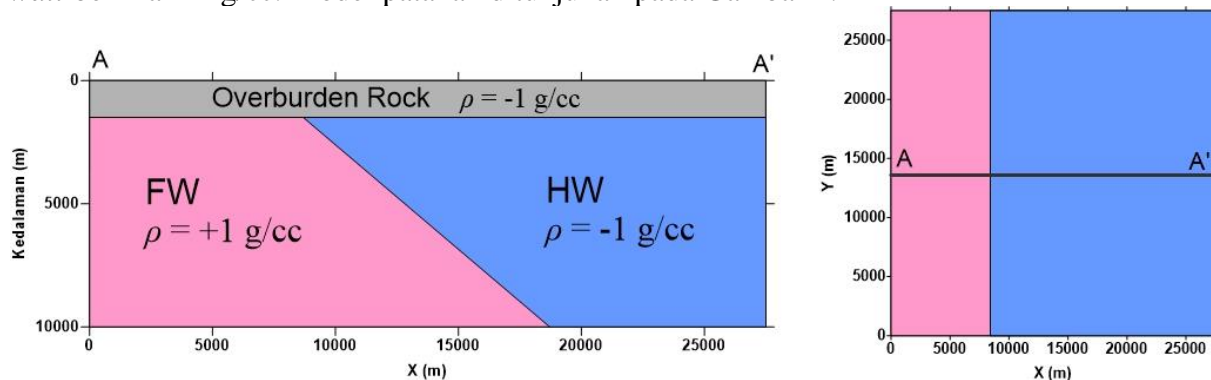
Persamaan diatas juga berlaku untuk data gravitasi pada arah y. Berdasarkan persamaan 1 dan 3 dapat disimpulkan untuk memperoleh nilai SVD data gravitasi dapat dilakukan dengan memperhitungkan selisih data gravitasi disekitarnya dibagi dengan jarak antar titik data yang di kuadratkan. Sehingga untuk menentukan SVD data gravitasi dapat menggunakan Persamaan (4) berikut.

$$\frac{d^2 g}{dz^2} = -\left(\frac{d^2 g}{dx^2} + \frac{d^2 g}{dy^2}\right) \quad (4)$$

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana dampak lapisan batuan *overburden* terhadap perhitungan lokasi patahan berdasarkan metoda SVD pada data gravitasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan membangun model densitas patahan secara 3D. Konfigurasi densitas yang dibangun adalah batuan *hanging wall* memiliki densitas lebih rendah daripada densitas batuan *foot wall*. Konfigurasi ini merupakan konfigurasi sederhana untuk model patahan normal. Densitas batuan pengubur sama dengan densitas batuan *hanging wall*. Konsep densitas yang digunakan pada penelitian ini adalah kontras densitas yaitu densitas relatif. Densitas *hanging wall* dan batuan pengubur bernilai -1 g/cc sedangkan densitas *foot wall* bernilai $+1 \text{ g/cc}$. Model patahan ditunjukkan pada Gambar 1.



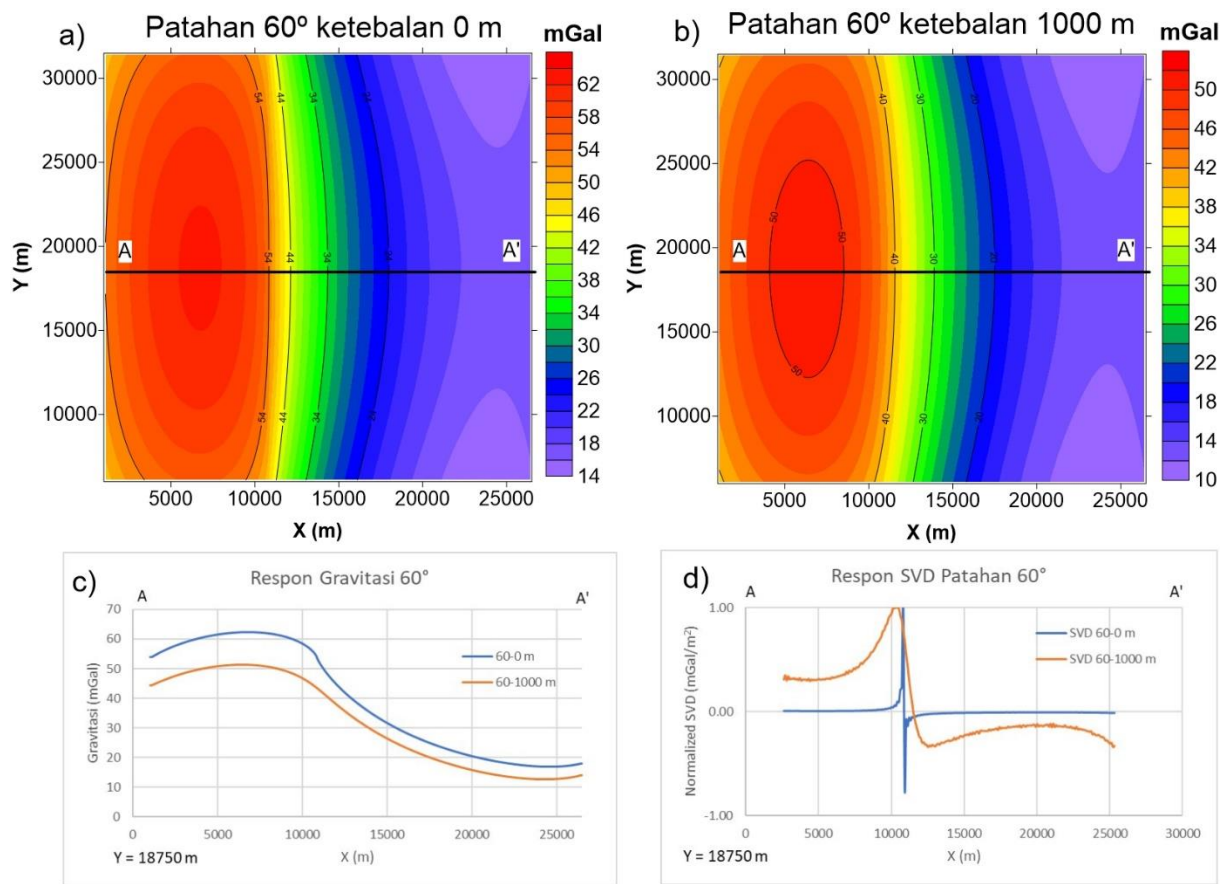
Gambar 1. Model Patahan yang digunakan dalam penelitian. Tampak dari arah selatan (kiri), tampak dari atas tanpa lapisan batuan (kanan).

Variasi dilakukan dengan membangun model patahan terkubur dengan ketebalan lapisan batuan dari $0 \text{ m} - 2000 \text{ m}$. Variasi ketebalan batuan dilakukan setiap penambahan ketebalan 100 m . Variasi juga dilakukan dengan membangun model patahan dengan sudut 30° , 45° , 60° dan 78° dari bidang permukaan. Setiap model yang telah dibangun, dilakukan *forward modelling* untuk mendapatkan respon gravitasi setiap model. Respon gravitasi yang diperoleh adalah data gravitasi fungsi spasial 2D (variasi X dan Y). Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software MeshTools3D* bagian dari *Grav3D UBC*.

Data gravitasi yang telah diperoleh dilakukan proses perhitungan SVD. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4).

HASIL DAN PEMBAHASAN

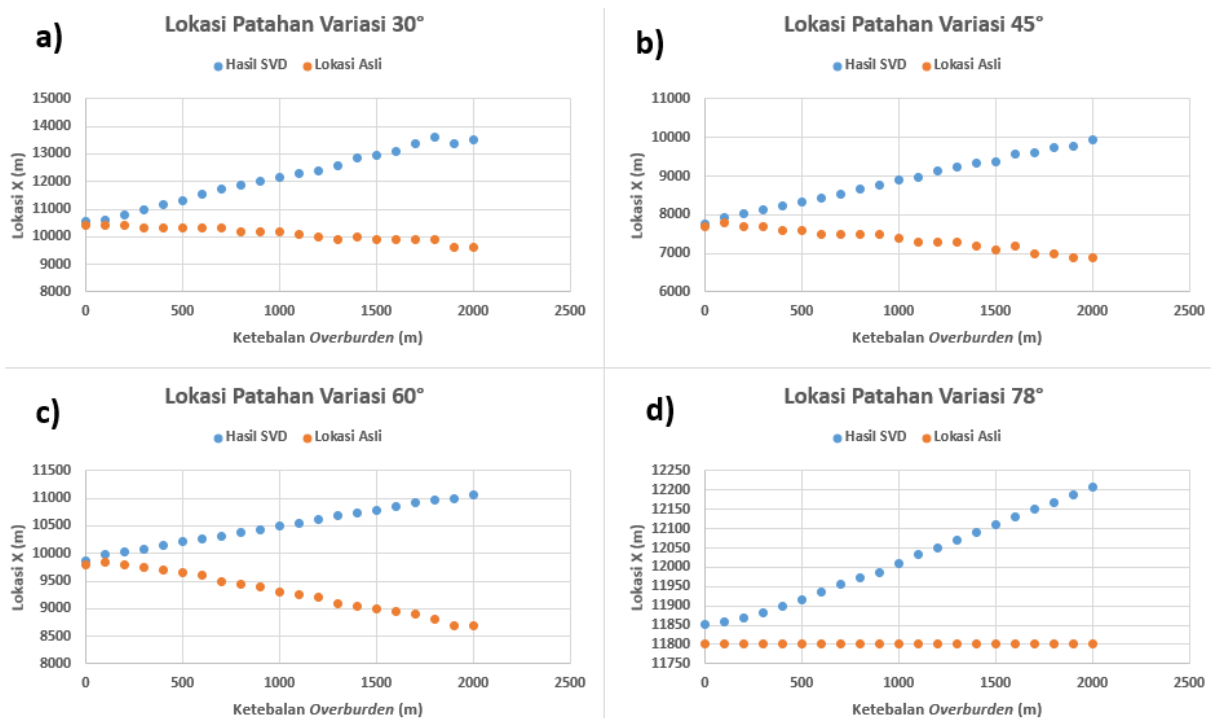
Contoh respon gravitasi dari model patahan 60° ditunjukkan pada Gambar 2 a dan b. Nilai gravitasi tinggi (warna merah) merupakan respon dari batuan *foot wall* sedangkan nilai gravitasi rendah (warna biru) merupakan respon dari batuan *hanging wall*. Pola respon gravitasi tersebut dikarenakan densitas batuan foot wall lebih tinggi daripada densitas batuan hanging wall. Adanya lapisan batuan overburden menyebabkan respon gravitasi di seluruh area menurun. Penurunan respon gravitasi terlihat dari nilai gravitasi dari model patahan 60° tanpa adanya batuan overburden (Gambar 2a) lebih tinggi daripada nilai gravitasi dari model patahan 60° dengan ketebalan lapisan batuan overburden 1000 m (Gambar 2b). Pola penurunan ini juga terlihat pada model patahan dengan variasi sudut 30° , 45° dan 78° . Gambar 2c menunjukkan perbandingan respon gravitasi model patahan 60° dengan overburden 1000 m dan tanpa overburden pada sayatan $Y = 18750 \text{ m}$.



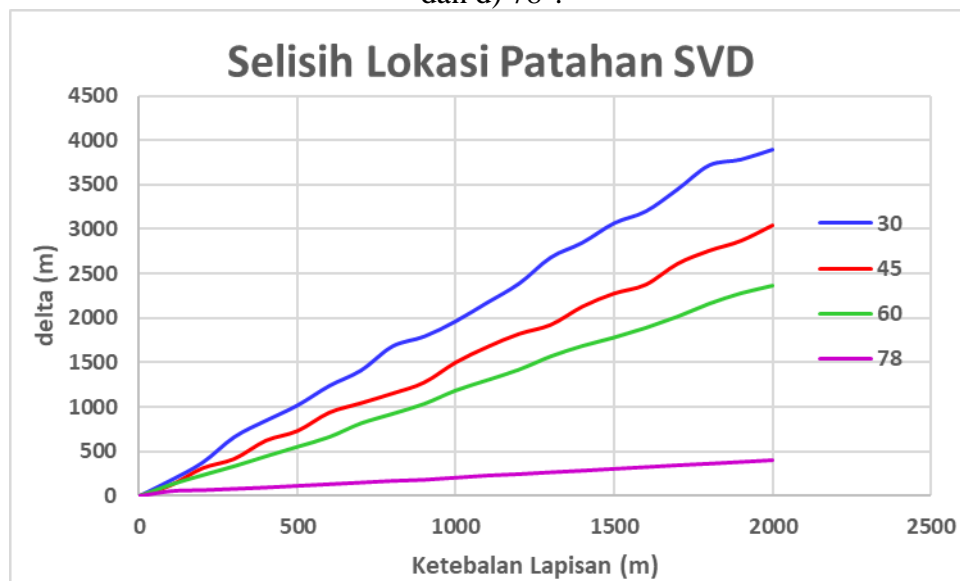
Gambar 2. Respon gravitasi model patahan 60° a) tanpa batuan overburden, b) batuan overburden 1000 m. c) respon gravitasi pada Y = 18750 m. d) Nilai SVD pada Y = 18750 m.

Gambar 2d menunjukkan grafik SVD kedua model pada sayatan Y = 18750 m yang telah dinormalisasi. Normalisasi dilakukan untuk menyamakan nilai maksimal nilai SVD kedua model. Normalisasi dilakukan dengan membagi dengan nilai maksimalnya. Hal yang dapat diperhatikan pada hasil SVD adalah jarak antara nilai 0 SVD dengan nilai maksimalnya berbeda untuk setiap variasi ketebalan overburden. Semakin tebal overburden maka semakin besar jarak antaran nilai 0 dengan nilai maksimalnya. Lokasi patahan sebenarnya model 60° tanpa overburden berada pada X = 9800 m sedangkan hasil perhitungan SVD berada di X = 9857 m. Lokasi patahan sebenarnya model 60° dengan ketebalan overburden 1000 m berada pada X = 9300 m sedangkan hasil perhitungan SVD berada di X = 10.491 m. Selisih antara nilai perhitungan dan lokasi semestinya untuk model tanpa overburden adalah 57 m sedangkan untuk model dengan ketebalan overburden 1000 m adalah 1191 m. Selisih pada model tanpa overburden dapat ditoleransi tetapi untuk model dengan adanya overburden terlalu jauh.

Lokasi patahan model dan lokasi patahan hasil perhitungan SVD ditunjukkan pada Gambar 3. Simbol bulat berwarna oranye adalah lokasi patahan model sedangkan simbol bulat biru adalah lokasi patahan hasil perhitungan SVD. Lokasi patahan pada ketebalan lapisan batuan 500 m untuk sudut 30° berada pada lokasi X = 10.300 m namun hasil SVD nampak ada lokasi X = 11.322,54 m. Lokasi patahan pada ketebalan lapisan batuan 500 m untuk sudut 78° berada pada lokasi 11.917 m namun hasil SVD nampak pada lokasi X = 11.800 m. Selisih nilai lokasi patahan berdasarkan perhitungan SVD dengan lokasi patahan semestinya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Lokasi patahan semestinya dan lokasi patahan hasil SVD, a) 30°, b) 45°, c) 60° dan d) 78°.



Gambar 4. Grafik selisih lokasi patahan hasil SVD dan lokasi sebenarnya terhadap variasi ketebalan lapisan batuan. Sudut 30° (biru), Sudut 45° (merah), Sudut 60° (Hijau), Sudut 78° (Ungu).

Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan overburden maka semakin menyimpang lokasi patahan hasil SVD. Penyimpangan terbesar terdapat pada model sudut 30° dengan ketebalan lapisan 2000 m. Apabila tanpa overburden, penyimpangan lokasi patahan berkisar 50 m disetiap model. Penyimpangan 50 m diduga karena proses perhitungan data yang menggunakan format jarak antar grid data 100 m. Untuk ketebalan overburden 2000 m terlihat bahwa semakin kecil sudut patahan maka penyimpangan lokasi akan semakin besar.

Hal ini diduga karena adanya overburden menyebabkan pusat massa dari model cenderung bergeser ke arah overburden dan batuan hanging wall. Pergeseran pusat massa menyebabkan pergeseran dari perhitungan lokasi patahan dengan SVD.

Jarak antara nilai 0 dengan nilai maksimal dapat mengindikasikan hubungan antara metoda SVD dengan ketebalan lapisan batuan overburden. Hubungan tersebut nantinya dapat digunakan sebagai alat identifikasi untuk mengetahui ketebalan batuan overburden pada suatu wilayah. Naufal dan Rosid (2019) berpendapat bahwa adanya batuan overburden menyebabkan penyimpangan lokasi patahan hasil SVD baik pada arah horizontal maupun vertikal. Penyimpangan arah horizontal disebabkan oleh pergeseran pusat massa. Penyimpangan arah vertikal disebabkan karena karakteristik SVD yang merupakan filter *high-pass*.

KESIMPULAN

Overburden menyebabkan penyimpangan dalam penentuan lokasi patahan berdasarkan perhitungan SVD. Penyimpangan diduga disebabkan karena batuan overburden mempengaruhi lokasi pusat massa dari sistem. Semakin tebal batuan overburden maka perhitungan lokasi patahan semakin menyimpang.

Pada model patahan dengan ketebalan batuan overburden 2000 m, penyimpangan lokasi patahan terbesar terdapat pada model patahan 30° sedangkan penyimpangan terkecil terdapat pada model patahan 78°. Hal ini diduga karena metoda SVD lemah untuk mengidentifikasi perubahan densitas pada patahan landai namun sangat baik untuk patahan yang curam.

Berdasarkan hasil penelitian, perlu adanya suatu persamaan yang menghubungkan antara ketebalan lapisan batuan overburden terhadap lokasi patahan berdasarkan hasil SVD. Persamaan ini nantinya dapat digunakan sebagai koreksi dalam penentuan lokasi patahan. Selain itu terlihat bahwa jarak antara nilai 0 dengan nilai maksimal SVD berhubungan dengan ketebalan lapisan batuan overburden. Hubungan ini nantinya dapat digunakan sebagai alat identifikasi untuk mengetahui ketebalan batuan overburden.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menerapkan variasi patahan naik. Apakah hubungan antara patahan naik dengan SVD sama seperti hubungan antara patahan normal dengan SVD? Variasi yang perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah variasi densitas batuan overburden.

DAFTAR PUSTAKA

- Billings, M.P. (1946). *Structural Geology*. New York: Prentice-Hall, Inc.
- Fahmi, F. (2013). *Pemodelan Sistem Geotermal Arjuno Welirang, Jawa Timur Dengan Menggunakan Inversi Data Magnetotellurik 3-Dimensi*. Universitas Indonesia
- Kenworthy, S., Hagemann, S.G. (2007). Fault and vein relationships in a reverse fault system at the Centenary orebody (Darlot gold deposit), Western Australia: Implications for gold mineralization. *Journal of Structural Geology*, Vol. 29 issue 4. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2006.11.004>.
- Makhrani. (2012). *Buku Ajar: Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Makassar: Unhas-Press.
- Naufal, M.A., Rosid, M.S. (2019). *Identifikasi Struktur Geologi Berdasarkan Metode Multi Level Second Vertical Derivative (Ml-Svd) Data Gravitasi*. Universitas Indonesia
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Wijaya, P.H., Noeradi, D., Permadi, A.K., Usman, E., & Djaja, A.W. (2012). Potensi Migas Berdasarkan Integrasi Data Sumur dan Penampang Seismik di Wilayah *Offshore* Cekungan Tarakan Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, Vol 10 no. 3, Desember 2012. <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.10.3.2012.221>