

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. 2007. Seismik Online Ensiklopedia. <http://ensiklopediseismik.blogspot.co.id>, diakses pada 3 Mei 2020.
- Aksara, A. B. 2013. Deleniasi Penyebaran Shallow Gas Secara Horisontal menggunakan Metode Seismik 2D Resolusi Tinggi. Universitas Hasanuddin. Makassar
- Arenrin, B., Margrave, G., dan Bancroft, J. 2013. "Turning-ray tomography and tomostatics". *Crewes Research Report*. Vol. 25.
- Astawa, N dan Lugra, W. 2007. "Indikasi Keberadaan Gas Biogenik di Delta Sungai Cimanuk Berdasarkan Data Seismik dan Bor Indramayu, Jawa Barat". *Jurnal Geologi Kelautan*. Vol.5, No.2.
- Astuti, A., Kristomo, Y., Lim, B. J., Satria, G., dan Anggriani, N. 2019. "Reveal The Velocity Anomalies in Complex Overburden and Enhanced The Imaging through Shallow Gas: A Case Study in SisiNubi Mahakam". Prosiding. Indonesian Petroleum Association. IPA19-G-194.
- Azwin, I. N., Saad, R., dan Nordiana, M. 2013. "Applying The Seismic Refraction Tomography for Site Characterization". *APCBEE procedia*. Vol.5 hal 227-231.
- Delliansyah, R. 2009. *Aplikasi Seismik Tomografi Waktu Tempuh Tercepat Antar Lubang Bor untuk Mendeteksi Anomaly Low Velocity Zone di Daerah Seisnfield, Distrik Kohlenz, Jerman*. Skripsi. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Grandis, H. 2009. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI). Jakarta.

- Iskandar, A. 2013. *Tomografi Seismik 3D Pada Lapangan Panas Bumi "X"*. Skripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Jonathan. 2012. *Aplikasi Tomografi seismik untuk Memodelkan Perambatan Gelombang Seismik Pada Struktur Bawah Permukaan*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Minarti. 2010. *Studi Pencitraan Bawah Permukaan Bumi Menggunakan Metode Pre-Stack Depth Migration*. Skripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Monalia, P. 2011. *Analisis Model Kecepatan Berdasarkan Tomografi Refleksi Waktu Tempuh (Travel Time Tomography Reflection)*. Tesis Magister. Universitas Indonesia. Depok.
- Müller, S., Reinhardt, L., Franke, D., Gaedicke, C., & Winsemann, J. 2017. "Shallow Gas Accumulations in The German North Sea". *Marine and Petroleum Geology*. Vol.91 hal 139-151.
- Noble, M., Thierry, P., Taillandier, C., dan Calandra, H. 2010. "High-performance 3D first-arrival travelttime tomography". *The Leading Edge*. Vol.29 No.1 hal 86-93.
- Octova, A., dan Sule, R. 2018. "Seismic Travel Time Tomography in Modeling Low Velocity Anomalies between the Boreholes". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol.335 No.1 hal 012056.
- Rice, D. D dan Claypool, G. E. 1981. "Generation, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas". *AAPG Bulletin*. Vol.65 No.1 hal 5-25.
- Rovetta, D., dkk. 2013. "3D Seismic-Gravity Simultaneous Joint Inversion for Near Surface Velocity Estimation". *75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC*.
- Schuster, G. T. 2017. *Seismic inversion* Vol. 20. SEG Books.

- Supriyanto, E. 2007. Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi. Diklat Jurusan Fisika Komputasi. Universitas Indonesia.
- Suroso, T dan Datametrian, A. 2018. "Near-Surface Modeling Using First Arrival Tomography: A Case Study on High Variation Topography and High Surface Energy Attenuation Area". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol.132 No.1.
- Surya, T dan Ade, M. 2017. "Aplikasi Metode Join Inversi Seismik Gravity Untuk Imaging dan Koreksi Statik pada Daerah Geologi Kompleks". *Jurnal Teknik ITS*. Vol.6 No.1 hal B157-B160.
- Tongxing, X., dkk. 2017. "Key Technologies for Processing of Seismic Data in Gas Cloud Area". *AAPG Annual Convention and Exhibition*.
- Vidale, J. E. 1990. "Finite-difference calculation of traveltimes in three dimensions". *Geophysics*. Vol.55 No.5 hal 521-526.
- Yilmaz, Ö. 1989. Seismic Data Analysis. Society of Exploration Geophysicists. Okhlahoma
- Yilmaz, Ö. 2001. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data. Society of Exploration Geophysicists. Okhlahoma.
- Zhu, T. dkk. 2000. "First Arrival Tomography: Method and Application". *2000 SEG Annual Meeting*. Society of Exploration Geophysicists.

L

A

M

P

I

R

A

N

LAMPIRAN

Solusi Persamaan Eikonal

Persamaan gelombang (1) dan solusi persamaan gelombang (2) diberikan sebagai berikut:

$$\nabla^2 u = \frac{1}{c} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$u = P_x e^{-iwT(x)} \quad (2)$$

Turunan pertama solusi persamaan gelombang terhadap \mathbf{x} adalah

$$\nabla u = \nabla P e^{-iwT(x)} - P_x iw \nabla T e^{-iwT(x)} \quad (3)$$

dan turunan kedua solusi persamaan gelombang terhadap \mathbf{x} adalah

$$\begin{aligned} \nabla^2 u &= \nabla^2 P e^{-iwT(x)} - \nabla P iw \nabla T e^{-iwT(x)} - \nabla P iw \nabla T e^{-iwT(x)} - P_x iw (\nabla^2 T e^{-iwT(x)} - \\ &\quad \nabla T iw \nabla T e^{-iwT(x)}) \end{aligned}$$

$$\nabla^2 u = (\nabla^2 P - 2iw \nabla P \nabla T - iw P_x \nabla^2 T + i^2 w^2 P_x \nabla T \nabla T) e^{-iwT(x)}$$

$$\nabla^2 u = (\nabla^2 P - 2iw \nabla P \nabla T - iw P_x \nabla^2 T - w^2 P_x (\nabla T)^2) e^{-iwT(x)} \quad (4)$$

Selanjutnya turunan pertama dan kedua solusi persamaan gelombang terhadap \mathbf{t} adalah

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t} (P_x e^{-iwT(x)}) \\ &= -iw P_x e^{-iwT(x)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= i^2 w^2 P_x e^{-iwT(x)} \\ &= -P_x w^2 e^{-iwT(x)} \end{aligned} \quad (6)$$

Kemudian hasil turunan tersebut dikelompokkan berdasarkan komponen riil dan imajiner, sehingga dapat dituliskan

$$\nabla^2 u = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 P - w^2 P_x (\nabla T)^2 - i[2w \nabla P \nabla T + w P \nabla^2 T] e^{-iwT(x)} = \frac{-P_x w^2 e^{-iwT(x)}}{c^2} \quad (7)$$

Komponen riil dari persamaan (7) adalah

$$\nabla^2 P - w^2 P_x (\nabla T)^2 = -\frac{P_x w^2}{c^2} \quad (8)$$

Komponen diatas masing-masing ruas dikalikan dengan $\frac{1}{P_x w^2}$, maka akan didapat

$$\frac{\nabla^2 P}{P_x w^2} - (\nabla T)^2 = -\frac{1}{c^2} \quad (9)$$

Dengan mengasumsikan kita menggunakan frekuensi tinggi sehingga nilai w akan sangat besar, sehingga komponen pertama dari persamaan diatas bernilai sangat kecil dibandingkan dengan komponen lainnya.

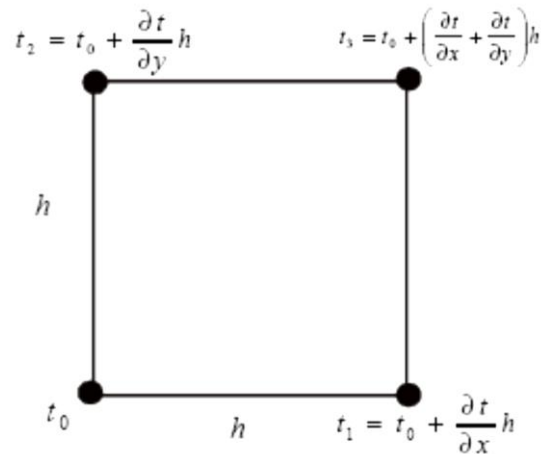
$$w = 2\pi f$$

$$(\nabla T)^2 = \frac{1}{c^2} \quad (10)$$

Deret taylor dinyatakan dalam

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} (x - x_0)^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)^n$$

Gambar di bawah ini menunjukkan satu grid, penomoran nodes berlawanan arah jarum jam, dimulai dari node kiri bagian bawah. Bagian node ke-0 diasumsikan mempunyai kecepatan yang telah diketahui (t_0), yang digunakan untuk menentukan waktu rambat pada node 1, 2, dan 3 (t_1 , t_2 , dan t_3).



Maka berdasarkan ekspansi deret Taylor, kita dapat menuliskan ekspansi dari deret Taylor orde pertama pada h yaitu:

$$t_1 = t_0 + \frac{\partial t}{\partial x} h$$

$$t_2 = t_0 + \frac{\partial t}{\partial y} h$$

$$t_3 = t_0 + \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y}\right) h$$

Dimana, ketiga persamaan diatas dapat dijabarkan lebih lanjut menjadi

$$t_3 = t_0 + \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y}\right) h \quad \text{masing-masing ruas ditambah } t_0 + \frac{\partial t}{\partial x} h$$

$$t_0 + \frac{\partial t}{\partial x} h + t_3 = t_0 + \frac{\partial t}{\partial x} h + \frac{\partial t}{\partial y} h + t_0 + \frac{\partial t}{\partial x} h$$

$$t_1 + t_3 = t_2 + t_0 + 2h \frac{\partial t}{\partial x}$$

$$t_1 + t_3 - t_2 - t_0 = 2h \frac{\partial t}{\partial x} \quad (11)$$

$$t_3 = t_0 + \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y}\right) h \quad \text{masing-masing ruas ditambah } t_0 + \frac{\partial t}{\partial y} h$$

$$t_0 + \frac{\partial t}{\partial y} h + t_3 = t_0 + \frac{\partial t}{\partial x} h + \frac{\partial t}{\partial y} h + t_0 + \frac{\partial t}{\partial y} h$$

$$t_2 + t_3 = t_1 + t_0 + 2h \frac{\partial t}{\partial y}$$

$$t_2 + t_3 - t_1 - t_0 = 2h \frac{\partial t}{\partial y} \quad (12)$$

Persamaan Eikonal dapat juga dituliskan sebagai berikut:

$$(\nabla T)^2 = s^2$$

$$\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)^2 = s^2 \quad (13)$$

Persamaan (11) dan (12) kemudian disubstitusi ke persamaan (13)

$$\left(\frac{t_1 + t_3 - t_2 - t_0}{2h}\right)^2 + \left(\frac{t_2 + t_3 - t_1 - t_0}{2h}\right)^2 = s^2$$

$$\frac{(t_1 + t_3 - t_2 - t_0)^2 + (t_2 + t_3 - t_1 - t_0)^2}{(2h)^2} = s^2$$

$$(t_3 + t_1 - t_2 - t_0)^2 + (t_3 + t_2 - t_1 - t_0)^2 = 4s^2h^2 \quad (14)$$

Untuk $(t_3 + t_1 - t_2 - t_0)^2$

$$\begin{aligned} & t_3^2 + t_1t_3 - t_2t_3 - t_0t_3 + t_1t_3 + t_1^2 - t_1t_2 - t_0t_1 - t_2t_3 - t_1t_2 + t_2^2 + t_0t_2 \\ & - t_0t_3 - t_0t_1 + t_0t_2 + t_0^2 \\ & t_3^2 + 2t_1t_3 - 2t_2t_3 - 2t_0t_3 + t_1^2 - 2t_1t_2 - 2t_0t_1 + t_2^2 + 2t_0t_2 + t_0^2 \end{aligned}$$

Untuk $(t_3 + t_2 - t_1 - t_0)^2$

$$\begin{aligned} & t_3^2 + t_2t_3 - t_1t_3 - t_0t_3 + t_2t_3 + t_2^2 - t_1t_2 - t_0t_2 - t_1t_3 - t_1t_2 + t_1^2 + t_0t_1 \\ & - t_0t_3 - t_0t_2 + t_0t_1 + t_0^2 \\ & t_3^2 + 2t_2t_3 - 2t_1t_3 - 2t_0t_3 + t_2^2 - 2t_1t_2 + t_1^2 + 2t_0t_1 - 2t_0t_2 + t_0^2 \end{aligned}$$

Persamaan (14) kemudian dituliskan menjadi

$$2t_3^2 - 4t_0t_3 + 2t_0^2 + 2t_1^2 - 4t_1t_2 + 2t_2^2 = 4s^2h^2 \quad (15)$$

$$t_3^2 - 2t_0t_3 + t_0^2 + t_1^2 - 2t_1t_2 + t_2^2 = 2s^2h^2 \quad (16)$$

$$(t_3 - t_0)^2 + (t_1 - t_2)^2 = 2s^2h^2 \quad (17)$$

$$t_3 - t_0 = \sqrt{2s^2h^2 - (t_1 - t_2)^2} \quad (18)$$

Maka penyelesaian untuk t_3 adalah

$$t_3 = t_0 + \sqrt{2s^2h^2 - (t_1 - t_2)^2} \quad (19)$$