

Sintetik Seismik Lingkungan Vulkanik

Muhammad Ghazalli, Amien Widodo, Firman Syaifuddin

Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: amien@ce.its.ac.id; firman@geofisika.its.ac.id

Abstrak— Eksplorasi hidrokarbon saat ini mengharuskan geosaintis untuk mencari area baru yang sebelumnya dianggap tidak menghasilkan hidrokarbon. Dengan ditemukannya rembesan minyak pada daerah vulkanik mengindikasikan adanya *petroleum play* aktif yang memiliki cadangan hidrokarbon. Ketidakmampuan gelombang seismik untuk menggambarkan bawah permukaan pada daerah vulkanik menjadikan dibutuhkan pemodelan seismik. Pemodelan seismik akan memodelkan atau merekonstruksikan penjalaran gelombang seismik pada model geologi yang telah ditentukan, pada kasus ini model geologi yang digunakan adalah model geologi pada lingkungan vulkanik. Penelitian ini menggunakan 2 model, yang pertama adalah model “Kue Lapis” dan yang kedua adalah model “Serayu” yang merupakan model kompleks dari cekungan North Serayu di Jawa tengah. Kedua model tersebut memiliki lapisan basalt dengan tebal 200 m yang menutupi lapisan bawahnya yang menjadi target karena menyimpan cadangan hidrokarbon. Dari hasil pemodelan dapat dilihat fenomena gelombang ketika merambat melalui lingkungan vulkanik.

Kata Kunci— *Lingkungan Vulkanik, Pemodelan Seismik, Pemodelan Ke depan, Cekungan Serayu.*

I. PENDAHULUAN

DENGAN semakin menipisnya cadangan hidrokarbon pada *petroleum system* yang konvensional memunculkan ide-ide baru dengan adanya cadangan migas pada daerah yang dianggap tidak dapat memproduksi migas, yaitu area lingkungan batuan vulkanik. Di pulau Jawa sendiri penemuan rembesan minyak dan gas paling banyak muncul di area vulkanik. Saking banyaknya rembesan minyak di area vulkanik sampai pernah memunculkan teori bahwa minyak dan gas itu memiliki asal magmatik (salah satu teori anorganik asal minyak yang pernah muncul pada zaman Hindia Belanda di Indonesia). Seiring berkembangnya pengetahuan lalu diketahui bahwa asal hidrokarbon adalah organik, yaitu dari zat renik organik (bakteri, plankton, ganggang) atau tumbuhan-tumbuhan di darat yang sebagian massanya menjadi komponen di batuan penggenerasi hidrokarbon (*source rock*). Batuan vulkanik ini menekan dan menenggelamkan batuan induk ke kedalaman yang menyebabkan zat organik di dalam batuan induk menjadi matang dan berubah menjadi minyak dan gas, lalu sebagian migas ini naik ke permukaan melalui celah-celah atau patahan-patahan dan menjadi rembesan minyak/gas di permukaan [1].

Tantangannya sekarang adalah teknologi pengambilan data (akuisisi) dan pengolahan data seismik sampai saat ini hampir tak mampu menembus lapisan tebal vulkanik untuk mengungkap konfigurasi lapisan batuan di bawah vulkanik (*sub-vulcanic*) dengan maksimal. Oleh karena itu dibutuhkan pemodelan data seismik untuk mengetahui dan memahami

bagaimana respon gelombang seismik ketika menjalar melalui model geologi yang kompleks, dalam hal ini pada lingkungan batuan vulkanik

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pemodelan Ke depan

Pemodelan ke depan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan gelombang akustik dalam medium isotropik. Untuk pemodelan akustik, properti medium dijelaskan sebagai sebaran ruang dengan parameter perambatan gelombang dari gelombang yaitu $v = (x_1, x_3)$ dan densitas $\rho(x_1, x_3)$. Persamaan gelombang akustik dijelaskan sebagai medan vektor dari pemindahan kecepatan u dan medan skalar dari tekanan p , keduanya menghasilkan persamaan sebagai berikut [2].

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_1} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_3}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_3} \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \rho v^2 \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) \quad (3)$$

selanjutnya, turunkan persamaan 1 dengan x_1 , persamaan kedua dengan x_3 , dan persamaan ketiga dengan t , maka didapatkan.

$$\frac{\partial u_1}{\partial t \partial x_1} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_1} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 u_3}{\partial t \partial x_3} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \rho v^2 \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial t \partial x_1} + \frac{\partial^2 u_3}{\partial t \partial x_3} \right) \quad (6)$$

dengan mensubstitusikan persamaan 4 dan 5 ke persamaan 6, maka didapatkan persamaan akustik dengan notasi tekanan.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \rho v^2 \left[\left(\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_1} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} \right) + \left(\frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) \right] \quad (7)$$

persamaan 7 dapat disederhanakan menjadi,

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = v^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) + \rho v^2 \left(\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_3} \right) \right) \quad (8)$$

dapat dilihat pada persamaan 7, terdapat persamaan yang menurunkan dengan densitas. Jika nilai tersebut mendekati 0 maka pada kasus ini akustik dan nilai skalar identik dengan tekanan. Perambatan gelombang bergantung kepada properti medium (tidak berubah seiring waktu – statik). Berikut beberapa properti yang mempengaruhi perambatan gelombang seismik:

- Kecepatan Primer (V_p) dan kecepatan sekunder (V_s), densitas (ρ).
- Properti tambahan seperti *anisotropy* (Parameter Thompson, atenuasi, dan absorpsi).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data sintetik dengan menggunakan model geologi sederhana dan model geologi skema pada lingkungan batuan vulkanik. Tahap pertama adalah membuat model geologi yang selanjutnya akan dilakukan akuisisi seismik secara *forward modelling*, sehingga didapatkan data sintetik. Model geologi yang digunakan diusahakan mendekati model geologi lapangan sehingga diperlukan referensi lingkungan pengendapan di daerah batuan vulkanik (Facies Vulkanik) sebagai wawasan pembuatan model geologi (jenis batuan, struktur geologi dan morfologi) lalu dibutuhkan studi literatur untuk mengaitkan kondisi geologi yang diinginkan dengan properti fisis batuan seperti Kecepatan P dan densitas.

Setelah didapatkan model geologi lingkungan vulkanik yang diinginkan selanjutnya diberikan parameter akuisisi seperti jumlah channel, jumlah titik penembakan, *near offset*, *far offset*, *record length*, *sampling time*, dan frekuensi yang diberikan. Parameter akuisisi ini digunakan untuk tahapan selanjutnya yaitu *forward modelling* yang akan menghasilkan sintetik seismogram.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Model Geologi Sederhana

Model geologi sederhana merupakan model yang digunakan untuk melihat sifat perambatan gelombang seismik. Model yang digunakan adalah model lapisan tanpa struktur dengan memasukkan lapisan batuan basalt untuk melihat perambatan gelombang pada lapisan tersebut.



Gambar 1. Model Geologi "Kue Lapis" tanpa struktur dengan dimensi panjang 12 km dan kedalaman maksimum 6 km.

Tabel 1. Parameter fisis model kue lapis.

Lapisan ke	Tipe Lapisan	VP (m/s)	Densitas (kg/m ³)	Ketebalan (m)
1	Sandstone	1500	1970	1500
2	Sandstone	2500	2200	2000
3	Basalt	5500	2575	200
4	Sandstone	3250	2237	1400
5	Sandstone	3500	2275	1000

B. Desain Akuisisi Model Kue Lapis

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan desain akuisisi adalah ketebalan lapisan dan kedalaman lapisan target. Digunakan frekuensi sebesar 5 Hz dikarenakan hasil test parameter "Test Run". Penentuan *far offset* ditentukan kurang lebih 2 kali kedalaman, dikarenakan target memiliki kedalaman 6 Km maka *far offset* yang digunakan sejauh 12 Km. Penentuan *shot* dan *receiver interval* dihasilkan dari penggunaan grid yang

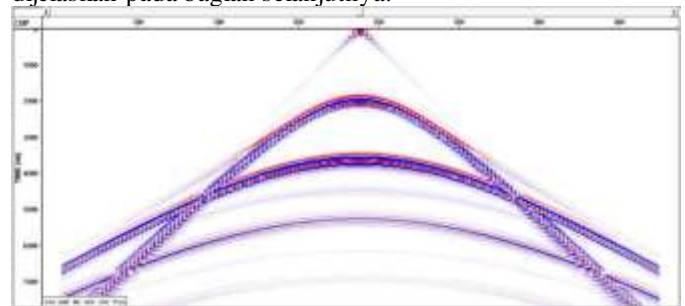
digunakan, dikhawatirkan kualitas data akan menjadi kurang baik ketika interval geophone tidak mengikuti 2 kali lebar grid.

Tabel 2. Parameter akuisisi model kue lapis.

Grid 20 meter	Frekuensi 5 Hz Wavelet Ricker
Shot Interval 80 m	Total Shot 150
Receiver Interval 40m	Total Receiver 301
Record Length 7 sekon	Sampling Interval 2ms

C. Seismic Gather Model Kue Lapis

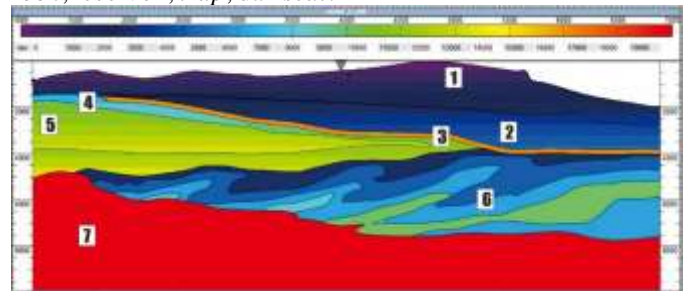
Model geologi yang telah memiliki parameter fisis kemudian dilakukan *forward modelling* untuk melihat respon seismik nya. Dikarenakan model yang digunakan tanpa struktur, maka respon seismik nya memiliki penurunan waktu atau efek hiperbolik yang bagus. Respon yang tebal mengindikasikan terjadinya refleksi dengan lapisan. Ada beberapa respon tipis pada bagian time besar di asumsikan sebagai *noise*, akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.



Gambar 2. CMP gather 300 (tengah lintasan dengan fold terbanyak).

D. Model Geologi Kompleks

Model Geologi yang digunakan adalah hasil modifikasi dari penampang geologi North Serayu Basin. Model geologi ini digunakan karena memiliki petroleum play mulai dari *source rock*, *reservoir*, *trap*, dan *seal*.



Gambar 3. Model "Serayu", merupakan modifikasi dari skema North Serayu basin dan telah diberikan properti fisis di setiap lapisan yang didefinisikan. memiliki dimensi panjang 20 Km dengan kedalaman 10 Km. Memiliki elevasi berkisar 0 meter hingga 1000 meter (digambar ulang berdasarkan van Bemmelen, 1949; Satyana and Armandita, 2004).

Tabel 3. Properti fisis model Serayu

Lapisan ke	Tipe Lapisan	VP (m/s)	Densitas (kg/m ³)	Ketebalan (m)
1	Soil	1000 - 1800	1565	4000
2	Batuan Pasir	2000	2010	1000
3	Basalt	6000	2650	200
4	Fasies Vulkanik	3000 - 5000	2200	3400
5	Fasies Vulkanik	4000 - 5000	2350	2000
6	Sandstone	2000 - 3000	2200	3500

7	Basemen Vulkanik	7000	2970	3000
---	------------------	------	------	------

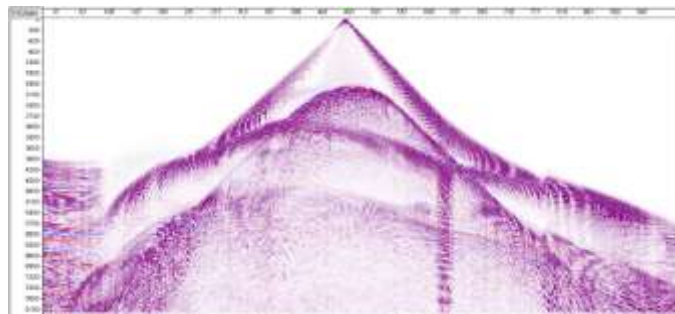
E. Desain Akuisisi

Setelah didapatkan model yang akan digunakan kemudian dilakukan desain akuisisi, hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang diinginkan dengan mempertimbangkan berbagai kondisi seperti ketebalan lapisan, kedalaman lapisan target, dsb.

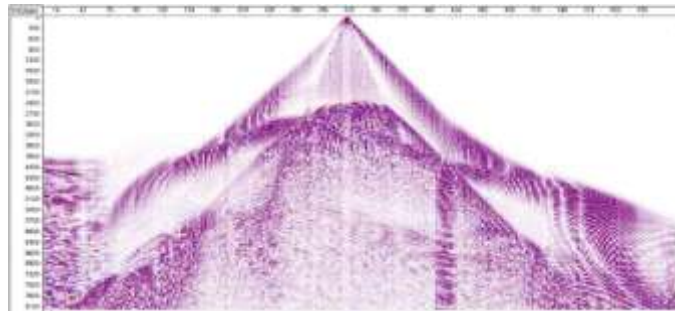
Untuk penentuan desain akuisisi dan parameter akuisisi dilakukan 4 kali test dengan mengubah beberapa parameter sebagai berikut. Tiap test dilakukan 1 kali shot pada tengah model untuk melihat kualitas data, semua test run menggunakan model pada gambar 6 dengan panjang lintasan 20 Km.

Tabel 4. Parameter akuisisi tiap Test

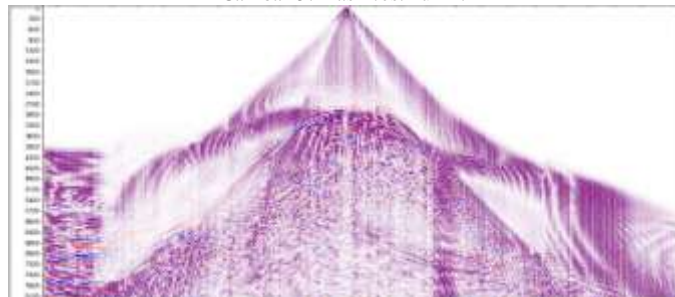
	Test Run 1	Test Run 2	Test Run 3	Test Run 4
Frekuensi Grid	10	15	20	25
Total Shot	501	175	131	105
Shot Interval	40	60	80	100
Total Receiver	1001	661	500	400
Receiver Interval	20	30	40	50
Durasi 1 kali shot	-	26 menit	14 menit	12 menit
Estimasi Full Shot	-	72 jam	30,5 jam	21 jam



Gambar 4. Hasil test run 1.



Gambar 5. Hasil test run 2.



Gambar 6. Hasil test run 3.

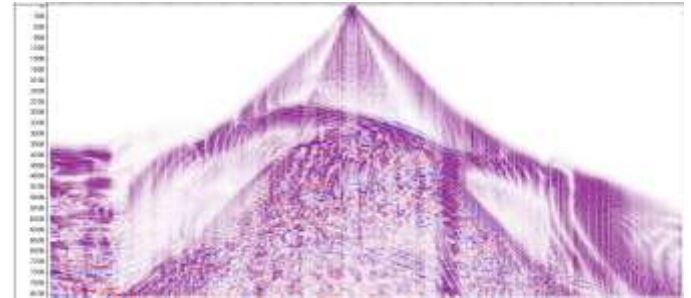
Beberapa parameter yang mempengaruhi durasi penghitungan pemodelan atau limitasi kecepatan perhitungan sebagai berikut,

$$\Delta d = \frac{Vp[\min]}{F[pick]/Basewave} \quad (14)$$

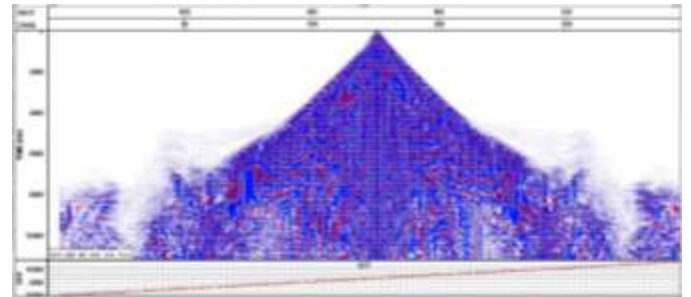
Untuk durasi waktu 1 kali komputasi (pemodelan dengan satu sumber)

$$\Delta t = \frac{\Delta d}{Vp[\max]/Stability} \quad (15)$$

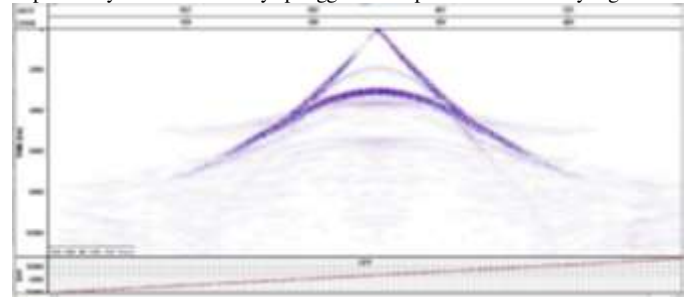
Dengan $Vp[\min]$ adalah nilai Vp minimum, $Vp[\max]$ adalah nilai Vp maksimum, $F[pick]$ adalah nilai frekuensi yang diberikan pada sumber, dan stability adalah $\sqrt{2} + 1/2 \times Basewave$ mendekati 1.5 – stability konstan. Sehingga ketika diberikan Vp yang besar dan frekuensi yang rendah maka durasi perhitungan akan semakin panjang karena berbanding terbalik.



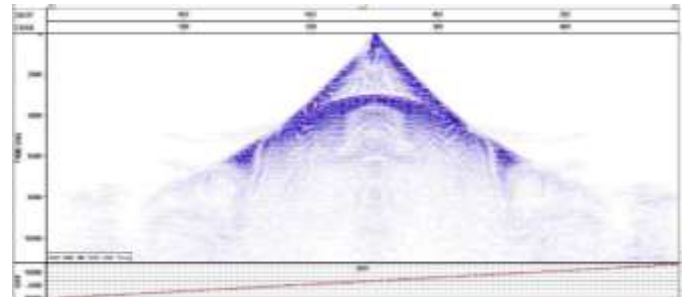
Gambar 7. Hasil test run 4.



Gambar 8. Seismic Section pada cmp 500 dengan menggunakan frekuensi shot sebesar 30 Hz. Terlihat minimnya even parabolik pada far offset yang dapat menyebabkan minimnya penggambaran pada even refleksi yang dalam.



Gambar 9. Seismic Section pada cmp 500 dengan menggunakan frekuensi shot sebesar 5 Hz.



Gambar 10. Seismic Section pada cmp 500 dengan menggunakan frekuensi shot sebesar 10 Hz.

Pemilihan frekuensi shot harus memperhatikan berbagai faktor, jika frekuensi yang diberikan tinggi maka akan

memberikan energi yang besar yang berakibat amplitudo yang terekam akan besar, hal ini bagus tetapi pemilihan frekuensi yang tinggi memiliki risiko pendeknya panjang gelombang sehingga sulit untuk melakukan penetrasi pada lapisan yang dalam. Sebaliknya, frekuensi rendah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang sehingga dapat melakukan penetrasi pada lapisan dalam. Dengan pertimbangan itu dan melihat hasil pemodelan pada Gambar 4.33, 4.34, dan 4.35 maka dipilih frekuensi yang akan digunakan sebesar 5 Hz.

F. KESIMPULAN

Adapun hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Dibutuhkan frekuensi yang sangat kecil (5 Hz) karena terdapat lapisan basalt dengan ketebalan 200 meter, sehingga gelombang seismik dapat melakukan penetrasi melewati lapisan tersebut.
- Disain akuisisi sangat berpengaruh terhadap kualitas data yang dihasilkan, oleh karena itu dibutuhkan test parameter untuk mengetahui disain akuisisi yang sesuai.
- Pemodelan seismik baik digunakan untuk mendisain survey pada lingkungan vulkanik untuk mengetahui hasil perekaman dan sebagai bahan uji kualitas data bila memiliki informasi geologi pada lapangan survey.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Satyana, A.H., 2015, *Subvolcanic Hydrocarbon Prospectivity of Java: Opportunities and Challenges*, Proceedings Indonesian Petroleum Association, 39th Annual Convention and Exhibition, Jakarta, May 2015.
- [2] Virieux, J., 1986, *Wave Propagation in Heterogeneous Media: Velocity-stress Finite Difference Method*. Geophysics, 51, 901.