

ANALISIS DATA SEISMIK REFRAKSI DENGAN METODE GENERALIZED-RECIPROCAL

Ashadi Salim

Mathematics & Statistics Department, School of Computer Science, Binus University
Jln. K.H. Syahdan no. 9, Palmerah, Jakarta Barat 11480
ashadisalim@binus.ac.id

ABSTRACT

The analysis of seismic refraction data by the generalized reciprocal method can be used for delineating undulating refractors. The forward and reverse times of arrival at different geophones with XY distance along a refraction profile, are used for calculating time depth. The seismic wave velocity in refractor may be obtained from velocity analysis function, and the depth of refractor under each geophone is obtained from time-depths function. This method has been applied at one line of seismic refraction measurement that was 440 m long with 45 geophone positions. The measurement obtained 20 m as the optimum XY-value and 2250 m/s as the velocity of seismic wave in refractor, and the undulating refractor topography with the depths varies 10.4 – 22.1 m. The optimum XY-value was obtained from approximate calculation derived from the observation, that was indicated the absent of undetected layer.

Keywords: seismic refraction, undulating refractor, velocity analysis function, time depth function

ABSTRAK

Analisis data seismik refraksi dengan metode “Generalized Reciprocal” dapat digunakan untuk memperoleh gambaran topografi dari refraktor berundulasi. Waktu kedatangan gelombang dari “forward dan reverse” pada beberapa posisi geofon yang berjarak XY sepanjang lintasan pengukuran seismik refraksi, digunakan untuk menghitung fungsi analisis kecepatan dan “time depth”. Kecepatan gelombang seismik pada refraktor dapat diperoleh dari fungsi analisis kecepatan, dan kedalaman refraktor diperoleh dari fungsi “time depth”. Metode ini telah digunakan pada satu lintasan pengukuran seismik refraksi yang panjang lintasannya 440 m dengan 45 posisi geofon. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa harga XY optimum adalah 20 m, kecepatan gelombang seismik pada refraktor adalah 2300 m/s, dan topografi refraktor berundulasi dengan kedalaman bervariasi antara 10,4-22,1 m. Jarak XY optimum hasil perhitungan mendekati sama dengan jarak XY optimum hasil observasi. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat lapisan yang tidak terdeteksi sepanjang lintasan pengukuran seismik.

Kata kunci: seismik refraksi, refraktor berundulasi, fungsi analisis kecepatan, fungsi time depth

PENDAHULUAN

Analisis atau interpretasi data seismik refraksi dengan metode “*intercept time*” atau metode T-X, menggunakan anggapan bahwa refraktor (bidang batas antara dua lapisan batuan berurutan) merupakan suatu bidang datar. Dalam kenyataan di lapangan hal tersebut jarang ditemukan, di mana umumnya bidang batas antara dua lapisan batuan adalah tidak rata atau berundulasi. Beberapa metode untuk analisis data seismik refraksi untuk bidang refraktor yang berundulasi sudah banyak dikembangkan (Palmer, 1980, 1981; Whiteley and Eccleston, 2006), di antaranya: metode “Delay Time”, metode “Plus-Minus”, dan metode Hagiwara - Masuda

Pada makalah ini dikemukakan pemakaian metode “*Generalized-Reciprocal*” dalam menganalisis /interpretasi data seismik refraksi untuk refraktor berundulasi. Metode ini didasarkan pada pengukuran waktu kedatangan gelombang “*forward*” dan “*reverse*” pada beberapa geofon yang berjarak XY sepanjang lintasan pengukuran seismik, serta pengukuran waktu timbal balik dari perambatan gelombang antara dua titik sumber, di mana hasil pengukuran waktu tersebut digunakan untuk menghitung fungsi analisis kecepatan dan “*time depth*”. Kecepatan gelombang pada refraktor dan kedalaman refraktor di bawah setiap posisi geofon dapat dihitung tanpa mengetahui informasi detail lapisan-lapisan di atas bidang refraktor. Grafik fungsi analisis kecepatan untuk beberapa jarak X-Y dapat digunakan untuk identifikasi ada atau tidaknya suatu patahan dalam daerah penelitian. Keuntungan lainnya dari metoda ini, dapat digunakan untuk mengetahui adanya lapisan tidak terdeteksi (hidden layer), baik berupa suatu lapisan tipis maupun lapisan *inverse* (kecepatan gelombang pada suatu lapisan lebih rendah dari lapisan batuan di atasnya, yaitu dengan membandingkan harga X-Y optimum hasil observasi dengan yang diperoleh dari hasil perhitungan (Palmer,1980; Hatherly and Nevill, 1986).

METODE

Persamaan Waktu Perambatan Gelombang

Pada gambar 1 ditunjukkan perambatan gelombang refraksi untuk model 4 lapisan batuan (Palmer, 1980). Waktu perambatan gelombang dari A ke B yang melalui bidang refraktor ke-3 adalah:

$$t_{AB} = \sum_{j=1}^3 (Z_{jA} \text{Cos}\alpha_{j4} + Z_{jB} \text{Cos}\beta_{j4})/V_j + AB \text{Cos}\theta_1 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_1) \text{Cos}(\theta_3 - \theta_2)/V_4 \quad (1)$$

di mana:

Z_{jA} : tebal lapisan ke j di bawah titik A

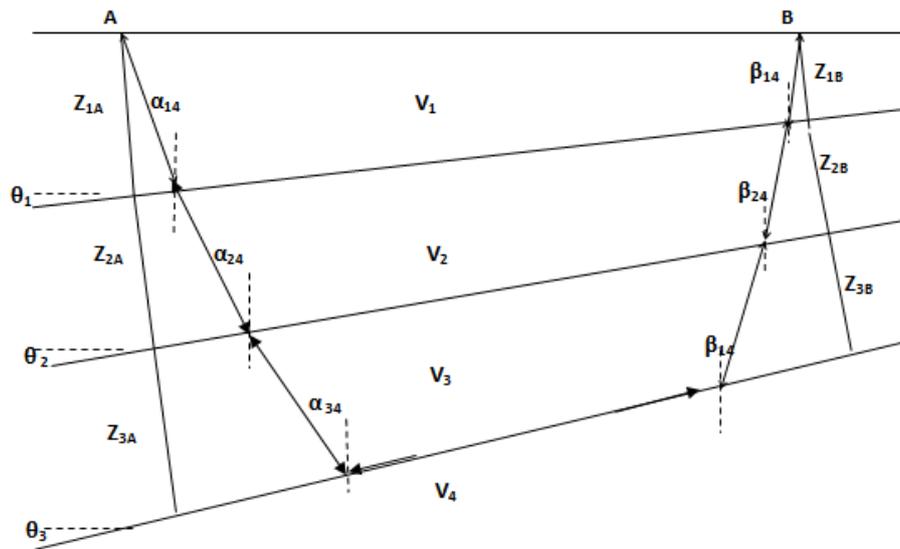
Z_{jB} : tebal lapisan ke j di bawah titik B

θ_1, θ_2 dan θ_3 berturut-turut merupakan sudut bidang bias ke 1, 2 dan 3 terhadap permukaan

V_1, V_2, V_3 dan V_4 berturut-turut merupakan kecepatan rambat gelombang pada lapisan ke 1, 2, 3 dan 4

α_{j4} adalah sudut bias kritis lapisan ke j terhadap lapisan ke 4 di bawah titik A

dan β_{j4} di bawah titik B



Gambar 1. Model 4 lapisan untuk menurunkan persamaan waktu perambatan gelombang dari titik A ke titik B (Palmer, 1980).

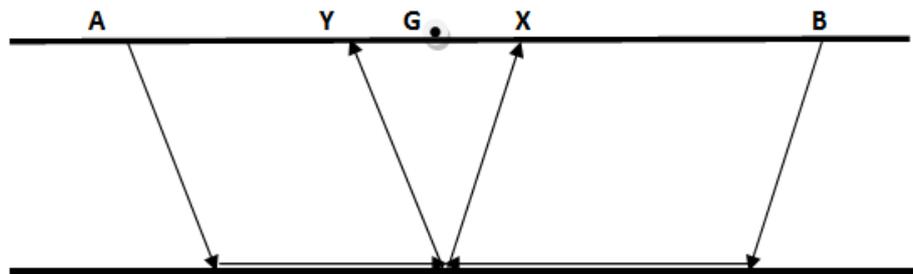
Pengembangan persamaan (1) di atas untuk model n lapisan:

$$t_{AB} = \sum_{j=1}^{n-1} (Z_{jA} \cos \alpha_{jn} + Z_{jB} \cos \beta_{jn}) / V_j + AB \cos \theta_1 \cos(\theta_2 - \theta_1) \dots \cos(\theta_{n-1} - \theta_{n-2}) / V_n \quad (2)$$

Menentukan Kecepatan Rambat Gelombang pada Bidang Refraktor

Fungsi analisis kecepatan untuk titik G yang berada di tengah antara titik X dan Y, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (didefinisikan sebagai berikut:

$$t_V = (t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}) / 2 \quad (3)$$



Gambar 2. Geometri Pendefinisian Fungsi Analisis Kecepatan (Palmer, 1980; Hatherly et al, 1986).

Kecepatan semu gelombang pada bidang refraktor ke n (V'_n) diperoleh dari kemiringan (slope) grafik t_V vs AG, yaitu:

$$1/V'_n = dt_V/dx \quad (4)$$

Dalam praktek, harga V'_n umumnya dianggap sebagai kecepatan gelombang sesungguhnya pada bidang refraktor ke n (V_n). Untuk mendapatkan ketelitian V_n yang paling baik, grafik t_V vs AG

dibuat untuk beberapa harga XY , dan grafiknya yang paling mendekati garis lurus, yang disebut sebagai XY optimum), akan memberikan harga V_n dengan ketelitian yang paling baik. Pada XY optimum diasumsikan bahwa gelombang dari sumber di A ke titik X dan gelombang dari sumber di B ke titik Y berasal dari titik yang sama pada bidang refraktor (Palmer, 1980; Orlovsky et al, 1988; Whiteley et al 2006,).

Menentukan Kedalaman Bidang Refraktor

Kedalaman bidang refraktor di bawah setiap posisi geofon dapat dihitung dengan menghitung terlebih dahulu waktu perambatan gelombang ke setiap geofon (time depth) menggunakan persamaan berikut (Palmer, 1980, 1981):

$$t_G = \{ t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + XY/V^n) \} / 2 \quad (5)$$

V^n diperoleh dari persamaan (4).

Dengan merubah t_{AY}, t_{BX} dan t_{AB} seperti dalam bentuk persamaan (2) dan kemudian disubsitusikan ke persamaan 5, akan diperoleh:

$$t_G = \sum_{j=1}^{n-1} (Z_{jG} (\cos \alpha_{jn} + \cos \beta_{jn}) / (2V_{jn}))$$

dan dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$t_G = \sum_{j=1}^{n-1} (Z_{jG} / V_{jn}) \quad (6)$$

dengan:

$$V_{jn} = 2 V_j / (\cos \alpha_{jn} + \cos \beta_{jn})$$

Z_{jG} merupakan ketebalan lapisan ke j dibawah posisi geofon (G)

Persamaan (6) di atas menyatakan hubungan *time depth* dengan kedalaman.

Harga-harga α_{jn} dan β_{jn} bergantung sudut-sudut kemiringan bidang refraktor, yang umumnya bervariasi secara acak, sehingga sulit untuk menentukan harga V_{jn} sesungguhnya. Dengan mengabaikan sudut kemiringan tersebut, V_{jn} dapat didekati dengan persamaan:

$$V_{jn} = V_n \cdot V_j / (V_n'^2 - V_j'^2)^{1/2}$$

Dengan pendekatan lapisan horizontal, persamaan (6) menjadi:

$$t_G = \sum_{j=1}^{n-1} (Z_{jG} \cos i'_{jn} / V'_j)$$

dan jarak XY optimum:

$$XY_{opt} = \sum_{j=1}^{n-1} (2Z_{jG} \tan i'_{jn})$$

dengan

$$\sin i'_{jn} = V'_j / V'_n$$

Kedalaman bidang refraktor dapat dihitung dengan menggunakan kecepatan rata-rata pada lapisan-lapisan di atas refraktor, tanpa harus mendefinisikan semua lapisan. Dengan menggunakan

notasi kecepatan rata-rata dan dengan $\bar{i} = \bar{V} / V'_n$, persamaan *time depth* menjadi:

$$\bar{t}_G = \frac{\bar{\cos i}}{\bar{V}} \sum_{j=1}^{n-1} Z_{jG}$$

dan
$$XY_{opt} = 2 \tan \bar{i} \sum_{j=1}^{n-1} Z_{jG} \quad (7)$$

Dari kedua persamaan di atas dapat diperoleh:

$$\bar{V} = (V_n' \sum_{j=1}^{n-1} XY / (2 t_G V_n' + XY))^{1/2}$$

Dengan demikian kedalaman bidang refraktor dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sum_{j=1}^{n-1} Z_{jG} = t_G \bar{V} / \cos \bar{i} = t_G \sqrt{\frac{V_n' XY}{2 t_G}} \quad (8)$$

Kedalaman bidang refraktor di bawah titik sumber (titik A dan B) dihitung menggunakan waktu “*intercept time*” dari fungsi analisis kecepatan, yaitu:

$$(t_V)_{X=0} = \sum_{j=1}^{n-1} Z_{jP} / V_{jn}$$

Dan perhitungan tersebut dilakukan untuk fungsi analisis kecepatan dari “*direct dan reverse shooting*”

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data seismik refraksi dengan metoda Generalized Reciprocal ini telah diterapkan pada 1 lintasan pengukuran seismik refraksi, dengan panjang lintasan 440 m. Lintasan pengukuran terdiri atas 2 segmen pengukuran dengan panjang setiap segmen 220 m, dengan posisi geofon 1 dari segmen kedua berimpit dengan posisi geofon 23 segmen pertama. Pada setiap segmen dilakukan pengukuran secara timbal-balik (*forward* dan “reverse” shooting) dan sumber jauh pada kedua sisi setiap segmen. Dengan teknik pengukuran yang dilakukan, memungkinkan untuk menggabungkan data pengukuran dari kedua segmen menjadi data satu lintasan pengukuran dengan 45 posisi geofon. Jarak antara dua geofon yang berdekatan adalah 10 m. Harga t_{AB} diambil harga rata-rata dari hasil yang diperoleh sumber di A dan sumber di B.

Pada tabel 1 ditunjukkan data hasil pengukuran (data gabungan dari kedua segmen pengukuran). berupa waktu perambatan gelombang refraksi dari sumber ke masing-masing geofon. *data forward* (t_A) pada kolom 2 dan data *reverse* (t_B) pada kolom 3. Gelombang yang datang pada masing-masing geofon tersebut dianggap merupakan gelombang refraksi dari refraktor yang dipelajari

Tabel 1
Data Pengukuran dan Hasil Interpretasi Seismik Refraksi

No. Geofon	T_A (ms)	T_B (ms)	T_V (ms)			T_G (ms)	H(m)
			$XY=10\text{ m}$	$XY=20\text{ m}$	$XY=30\text{ m}$		
1	25	221	15,5				
2	30	218	18,5	17,0		11,6	17,0
3	33	212	22,5	19,5	18,0	11,1	16,3
4	35	207	27,0	24,5	21,5	10,1	14,8
					26,5		

5	39	201		29,0		9,6	14,1
6	43	198	32,0	34,5	31,5	9,1	13,3
7	48	191	36,0	38,5	37,0	10,1	14,8
8	53	186	42,0	45,0	41,5	9,6	14,1
9	59	181	47,5	49,0	46,5	8,6	12,6
10	62	176	51,5	53,5	51,0	8,1	11,8
11	66	173	56,0	57,5	55,0	7,1	10,4
12	69	168	59,0	62,5	61,0	9,1	13,3
13	76	164	65,8	66,0	63,5	7,6	11,1
14	78	162	68,0	71,5	69,5	9,1	13,3
15	85	158	72,5	75,0	74,0	10,6	15,5
16	90	152	77,0	80,0	78,0	11,6	17,0
17	96	146	83,0	84,0	81,0	9,6	14,1
18	98	142	87,0	89,5	86,5	9,1	13,3
19	103	138	91,5	93,5	91,5	9,1	13,3
20	107	134	95,5	97,5	95,5	9,1	13,3
21	111	131	99,5	102,5	100,5	10,1	14,8
22	117	128	104,0	106,0	104,5	10,6	15,5
23	121	122	107,5	109,5	108,0	11,1	16,3
24	125	119	112,5	114,0	111,0	9,6	14,1
25	128	114	115,5	117,0	115,5	9,6	14,1
26	131	110	119,5	122,5	120,0	10,1	14,8
27	137	104	124,5	125,5	123,5	9,1	13,3
28	139	99	128,5	132,0	129,0	9,6	14,1
29	146	95	134,5	137,0	134,5	9,6	14,1
30	151	93	139,0	141,0	139,0	9,6	14,1
31	155	86	142,0	144,0	143,0	10,6	15,5
32	159	83	147,5	149,5	146,0	9,1	13,3
33	163	80	151,0	154,0	152,5	10,6	15,5
			155,5		156,0		

34	169	74		157,5		11,1	16,3
			160,5		159,5		
35	173	70		162,5		10,1	14,8
			164,5		166,5		
36	177	64		168,0		11,6	17,0
			171,0		170,5		
37	184	61		173,5		11,1	16,3
			175,0		175,0		
38	189	59		176,5		11,1	16,3
			177,5		180,0		
39	192	55		181,0		13,6	19,9
			183,0		184,5		
40	199	49		186,5		15,1	22,1
			189,0		188,5		
41	206	47		191,5		14,1	20,7
			192,5		193,5		
42	210	43		194,5		15,1	22,1
			196,5		196,5		
43	214	35		198,5		15,1	22,1
			202,5		200,5		
44	218	31		204,5		13,1	19,2
			206,5				
45	222	37					

Dengan menggunakan persamaan (3), dihitung fungsi analisis kecepatan (t_v) untuk X-Y 10 m, 20 m dan 30 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada kolom 4, 5 dan 6 pada Tabel 1. Dari grafik t_v Vs AG (AG adalah jarak dari sumber ke geofon) untuk ketiga harga XY tersebut, diperoleh bahwa grafik untuk XY 20 m adalah paling mendekati garis lurus. Maka dari itu, harga XY 20 m tersebut diambil sebagai harga XY optimum. Dari grafik t_v Vs XY untuk XY optimum tersebut, dihitung kecepatan semu gelombang pada bidang refraktor. Kecepatan semu pada refraktor tersebut besarnya adalah 2250 m/s.

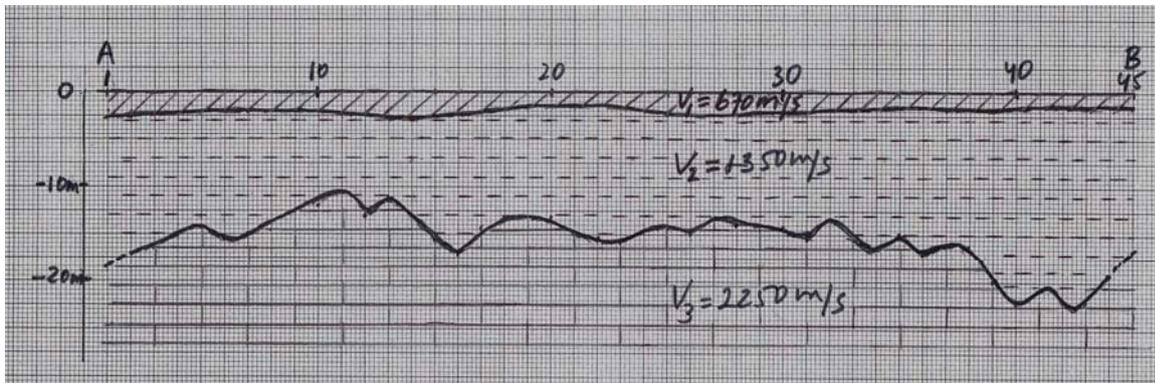
Time depth (t_G) untuk setiap posisi geofon dihitung dengan menggunakan persamaan (5), dan dilakukan untuk X-Y = 20 m, hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada kolom 7 Tabel 1. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (8) dapat dihitung kedalaman bidang refraktor di bawah posisi masing-masing geofon, dan hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada kolom 8 Tabel 1.

Dari kolom 8 Tabel 1 di atas terlihat bahwa kedalaman bidang refraktor sepanjang lintasan pengukuran adalah bervariasi antara 10,4 – 22,1 m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa topografi permukaan refraktor adalah tidak rata atau berundulasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Dengan menggunakan metode “*intercept time*” diperoleh bahwa di daerah penelitian terdapat tiga lapisan batuan, lapisan pertama dengan kecepatan rambat gelombang 670 m/s dan tebal rata-rata di bawah titik sumber adalah 2 m, serta lapisan kedua dengan kecepatan rata-rata 1350 m/s. Dari data-data tersebut dan dengan menggunakan persamaan (7), diperoleh $XY_{opt} = 21,2$ m. Harga ini adalah relatif sama dengan harga XY_{opt} hasil observasi (20 m), dengan simpangan sebesar 6%. Dari hasil tersebut, dapat diduga bahwa di sepanjang lintasan pengukuran tidak terdapat lapisan tidak terdeteksi.

Pada Gambar 3 ditunjukkan penampang kecepatan hasil pengukuran seismik, yang menunjukkan bahwa di daerah penelitian dapat diidentifikasi tiga lapisan batuan. Setiap lapisan batuan didefinisikan berdasarkan kecepatan rambat gelombang pada masing-masing lapisan. Menurut data geologi daerah setempat, lapisan pertama dengan kecepatan gelombang 670 m/s merupakan lapisan pasir lempungan, lapisan kedua dengan kecepatan gelombang 1350 m/s merupakan lapisan lanau

kerikil dengan variasi pelapisan pasir lempungan, dan lapisan ketiga dengan kecepatan gelombang 2250 m/s merupakan lapisan batuan andesit basaltik.



Gambar 3. Penampang kecepatan.

PENUTUP

Dari analisis data seismik refraksi dengan metode Generalized Reciprocal pada satu lintasan pengukuran yang panjang lintasannya 440 m dengan 45 posisi geofon, diperoleh informasi mengenai topografi bidang refraktor dibawah lintasan pengukuran, di mana topografi refraktor berundulasi dengan kedalaman bervariasi antara 10,4-22,1 m. dari permukaan Kecepatan rambat gelombang seismik pada refraktor ini adalah 2250 m/s. Dari data penghitungan fungsi analisis kecepatan (t_v) untuk harga XY 10, 20 dan 30 m, dapat diperkirakan bahwa pada daerah sepanjang lintasan pengukuran seismik tidak terdapat suatu patahan. Harga XY_{opt} hasil perhitungan, 21,2 m, dan hasil observasi 20 m, yang hampir sama, mengindikasikan bahwa sepanjang lintasan pengukuran tidak terdapat lapisan tidak terdeteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Orlowsky, D., Ruter, H., & Dresen, H. (1998). Combination of common-midpoint refraction seismics with the generalized reciprocal method. *Journal of Applied Geophysics*, 39 (4), 221-235.
- Palmer, D. (1980). An introduction to the the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. *Geophysics*, 46, 1508-1518.
- Palmer, D. (1980). *The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation*. Oklahoma: Society of Exploration Geophysicists.
- Whiteley, R. J., & Eccleston, P. J. (2006). Comparison of shallow seismic refraction interpretation methods for regolith mapping. Paper presented at 18th ASEG Geophysical Conference & Exhibition, Juli 2006.