

ANALISIS DISPERSI GELOMBANG RAYLEIGH STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN STUDI KASUS : DAERAH PASIR PUTIH DALEGAN GRESIK

¹Ahmad Sholihan ²Bagus Jaya Santosa

Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim 1, Sukolilo Surabaya 60111
Telp/Fax : (031) 5914696
E-Mail : ¹Ahmad@physics.its.ac.id

ABSTRAK

Telah dilaksanakan penelitian seismik untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan bumi dengan menggunakan salah satu jenis metode non-invasive tests yaitu Spectral Analysis of Surface Wave (SASW) melalui analisis dispersi gelombang Rayleigh. Sifat dispersi gelombang Rayleigh dapat digunakan untuk menentukan struktur perlapisan bumi berdasarkan kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman (h). Pengambilan data dalam penelitian ini berlokasi di daerah Pasir Putih Dalegan Kabupaten Gresik dengan menggunakan cara forward shooting dan reverse shooting dengan *near offset* 5 meter dan *far offset* 38 meter. Dari hasil pengolahan data analisis dispersi gelombang Rayleigh pada masing-masing lintasan melalui proses inversi dengan metode SASW diperoleh nilai kecepatan gelombang geser (V_s) sebagai fungsi kedalaman sebesar 103 m/s - 1763 m/s pada lintasan pertama, 108 m/s - 1761 m/s untuk lintasan kedua dan 103 m/s - 1761 m/s untuk lintasan ketiga. Sehingga dari nilai kecepatan gelombang geser tersebut diindikasikan pada kedalaman 0-5 meter struktur pelapisannya berupa Pasir kering dan pasir tersaturasi, kedalaman 5-10 meter berupa Pasir tidak terkonsolidasi, kedalaman 10-20 meter berupa pasir porous dan pada kedalaman 20-55 meter berupa lempung porous dan batuan pasir.

Kata kunci : Kurva Dispersi, Gelombang Rayleigh, metode SASW, Kecepatan gelombang geser

1. Pendahuluan

Metode seismik merupakan salah satu metode yang sangat penting dan banyak dipakai dalam teknik geofisika. Hal ini disebabkan metode seismik mempunyai ketepatan dan resolusi yang tinggi dalam memodelkan struktur geologi di bawah permukaan bumi. Dalam menentukan struktur geologi, metode seismik dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu *invasive tests* and *non-invasive tests*. Metode *invasive tests* memerlukan suatu lubang bor (*Cross-Hole, Down hole, P-S suspension logging*), sedangkan metoda *non-invasive* dilakukan di permukaan tanah (*Pemantulan, Pembiasan dan SASW test*).

Pada penelitian ini kita akan menggunakan salah satu jenis metode *non-invasive* yaitu *Spectral Analysis of Surface Wave* (SASW). Metode SASW merupakan suatu metode pengujian lapangan yang tidak merusak (*non-destructive test, NDT*) untuk mendapatkan nilai modulus elastik dan ketebalan pada sistem perkerasan secara akurat (Nazarian, 1984; Nazarian & Stokoe, 1984). Metode ini memanfaatkan sifat dispersif gelombang permukaan Rayleigh pada sistem tanah berlapis. Sifat penetrasi gelombang Rayleigh pada suatu media juga dipengaruhi oleh panjang gelombang dan frekuensi. Penggunaan metode SASW secara berkelanjutan telah diaplikasikan sebagai pengujian evaluasi pada infrastruktur

diantaranya identifikasi konstruksi fondasi bangunan (Madshus & Westerdhal, 1990; Stokoe et al., 1994), pendeteksian profil tanah (Matthews et al., 1996), dan masih banyak lagi yang lainnya.

Titik berat penelitian adalah analisa dispersi terhadap gelombang Rayleigh. Hal ini disebabkan efek dari gelombang Rayleigh sangat besar, bila kekuatan pemicu (*exciting force*) diterapkan di permukaan tanah. Gelombang-gelombang Rayleigh mencapai 67% dari energi total, gelombang-gelombang S sebesar 26% dan gelombang-gelombang P sebesar 7% sehingga gelombang Rayleigh sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah, karena pengurangan energi dalam perambatannya lebih rendah dari jenis gelombang seismik lainnya (Santosa, 2002).

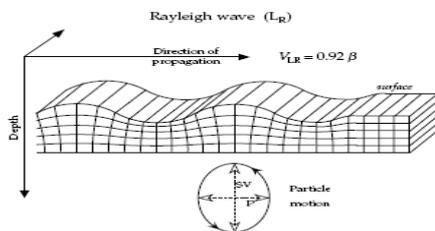
2. Kajian Pustaka

2.1 Teori Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh adalah jenis gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Gerakan partikel pada *wavefront* gelombang Rayleigh terdiri atas kombinasi gelombang P dan SV pada bidang vertikal dengan pola

gerakan partikel secara *ellipse retrograde* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Gelombang Rayleigh merupakan salah satu jenis gelombang permukaan yang merambat pada medium *half space*. Karakteristik lain dari gelombang Rayleigh adalah amplitudonya menurun atau berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman di bawah permukaan. Umumnya memiliki frekuensi rendah dengan spektrum yang tidak tajam. Gelombang Rayleigh merupakan jenis gelombang permukaan yang dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan mudah yang diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik. Sebab, gelombang Rayleigh mempunyai sifat yang unik, yaitu setiap perambatan gelombang yang melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi. (Wijaya, 2003).

Selain itu efek dari gelombang Rayleigh sangat besar, bila kekuatan pemicu (*exciting force*) diterapkan di permukaan tanah. Gelombang-gelombang Rayleigh mencapai 67% dari energi total yang dihasilkan oleh pemicu. Oleh karena itu gelombang Rayleigh sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah, karena pengurangan energi dalam perambatannya lebih rendah dari jenis gelombang seismik lainnya (Santosa, 2002).



Gambar 1 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie, 2007)

Kecepatan gelombang Rayleigh untuk medium padatan, dapat dituliskan dengan persamaan :

$$c_R = \beta \sqrt{2 - \frac{2}{3}} \approx 0.91940\beta \quad (1)$$

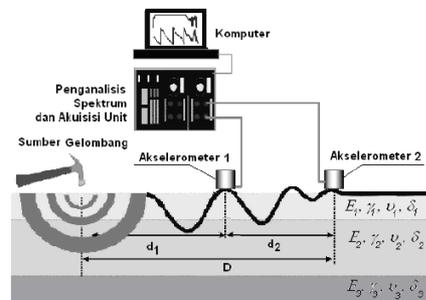
Persamaan tersebut mempunyai arti fisis bahwa gelombang Rayleigh yang merambat pada medium padatan homogen berupa konstanta, tidak tergantung pada tres atau tidak terdispersi, karena kecepatan gelombang Rayleigh bukan merupakan fungsi frekuensi (ω). Adapun panjang gelombang (λ_x) didapatkan dari persamaan :

$$\lambda_x = \frac{c_R}{f} \quad (2)$$

dengan f adalah frekuensi dan c_R adalah kecepatan grup dari persamaan gelombang Rayleigh yang didapatkan dari kurva dispersi observasi. Perumusan kedalaman merupakan perumusan yang menggambarkan batas kedalaman maksimum dimana gelombang Rayleigh dapat memberikan informasi parameter elastis yang dicari, konstanta 0.193 didapat dengan menganggap pada medium helium padatan dengan nilai rasio Poisson $\sqrt{3}$.

2.2 Metode SASW (Spectral Analysis of Surface Wave)

Metode *Spectral Analysis of Surface Wave* (SASW) merupakan suatu metode pengujian lapangan yang tidak merusak (*non-destructive test*, NDT) untuk mendapatkan nilai modulus elastik dan ketebalan pada sistem perkerasan secara akurat (Nazarian, 1984; Nazarian & Stokoe, 1984). Metode ini memanfaatkan sifat dispersif gelombang permukaan Rayleigh pada sistem berlapis. Pergerakan gelombang Rayleigh berlaku secara menyebar terhadap frekuensi (*dispersion*) merupakan suatu fenomena natural dari fungsi kecepatan terhadap panjang gelombang dan frekuensinya. Sifat penetrasi gelombangnya pada suatu media juga dipengaruhi oleh panjang gelombang dan frekuensi. (Rosyadi, 2004).



Gambar 2. Konfigurasi pengukuran SASW (Rosyadi, 2004)

Secara umum Tahapan analisis data gelombang permukaan dalam metode SASW terbagi dalam 3 proses utama (Nazarian & Stokoe 1984), yaitu :

1. Proses pengambilan data dilapangan yaitu dengan membuat gangguan pada permukaan dengan menggunakan sumber ledakan ataupun dengan pukulan (umumnya dalam arah vertikal).
2. Pembuatan kurva penyebaran (dispersi) kecepatan gelombang Rayleigh melawan frekuensi atau panjang gelombang
3. Proses inversi untuk mendapatkan profil akhir.

2.3 Dispersi Gelombang Rayleigh

Gelombang seismik merambat secara mekanik ke dalam medium lapisan bumi yang merupakan gelombang elastis atau mekanik yang ditimbulkan akibat regangan medium elastis. Berdasarkan system penjalarnya, gelombang seismik dibagi menjadi dua bagian, yaitu: gelombang badan dan permukaan. Energi gelombang seismik 67 % berupa energi gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini, digunakan untuk estimasi kecepatan gelombang geser sebagai fungsi kedalaman. Selanjutnya, nilai gelombang geser ini, dapat digunakan untuk mengetahui sifat (porositas, densitas, saturasi air dan jenis batuan) struktur bawah permukaan.

Sejak tahun 1980-an, gelombang permukaan dapat mencitrakan struktur bawah permukaan

dengan mudah yang diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik. adalah gelombang Rayleigh. Sebab, gelombang Rayleigh mempunyai sifat yang unik, yakni setiap perambatan gelombang ini yang melewati batas lapisan material bumi mengalami dispersi (Wijaya, 2003).

Pembuatan kurva dispersi gelombang Rayleigh dapat dilakukan dengan cara mengkorelasikan dua gelombang Rayleigh pada fungsi frekuensi yang terdeteksi oleh geophone dengan jarak sebesar D meter

$$G_{y_1y_2} = Y_1(f) * Y_2(f) \quad (3)$$

Dimana * menandakan kompleks konjugat. Estimasi selanjutnya berupa perbedaan sudut $\Theta(f)$ dan waktu $t(f)$ yang dibentuk oleh penjaluran kedua gelombang Rayleigh dengan pendekatan persamaan 4 dan 5.

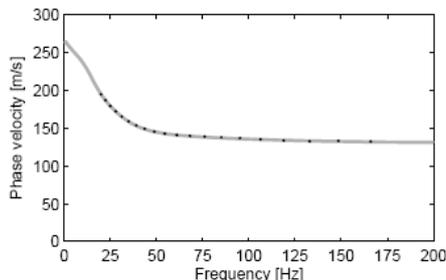
$$\Theta_{y_1y_2}(f) = \tan^{-1}(\text{Im}(G_{y_1y_2}) / \text{Re}(G_{y_1y_2})) \quad (4)$$

$$t(f) = \Theta_{y_1y_2}(f) / (2\pi f) \quad (5)$$

Selanjutnya dilakukan estimasi kecepatan sudut gelombang Rayleigh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_R(f) = D / t(f) \quad (6)$$

Kecepatan sudut gelombang Rayleigh jika dibuat grafik sebagai fungsi dari frekuensi, nampak seperti pada Gambar 3. Grafik yang demikian, sering kali disebut sebagai disperse gelombang Rayleigh.



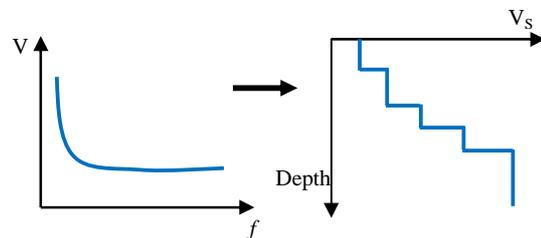
Gambar 3. Grafik kecepatan sudut gelombang Rayleigh sebagai fungsi frekuensi.

2.4 Inversi Gelombang Rayleigh

Inversi gelombang Rayleigh dilakukan untuk memodelkan struktur bawah permukaan. Jika diketahui parameter-parameter medium $(\rho(y), V_p(y), V_s(y))$, penyelesaian permasalahan untuk kurva dispersi $V_R(\omega)$ disebut dengan pemodelan ke depan gelombang Rayleigh (*forward problem*). Begitu juga sebaliknya jika diketahui $V_R(\omega)$ maka pemodelan yang dilakukan adalah untuk menentukan parameter-parameter medium dan biasa disebut pemodelan ke belakang dari gelombang Rayleigh (*backward* atau *inverse problem*). Secara umum kedua metode penyelesaian tersebut dapat dilakukan bersamaan. Pemodelan ke belakang dilakukan dengan penentuan model parameter fisis pengukuran-pengukuran yang disebut

identifikasi parameter model. Penyelesaian dari identifikasi model, yaitu dengan menginversikan dengan variabel-variabel pengamatan untuk mendapatkan pendekatan yang baik dari parameter model yang bergantung pada pemilihan dari fungsi respon. Pemilihan ini dilakukan karena dispersi gelombang Rayleigh merupakan fungsi respon. Dalam domain frekuensi fungsi-fungsi respon meliputi amplitudo pergeseran, fase pergeseran atau fase spektrum dari sinyal gelombang Rayleigh. Dalam domain waktu fungsi respon meliputi periode pendek dan panjang pada seismogram.

Inversi gelombang Rayleigh (Gambar 4) adalah suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter elastis kurva dispersi, biasanya proses akan mengasumsikan sebuah model horizontal berlapis sebagai model awal untuk mendapatkan model parameter baru. Dalam menentukan permodelan inversi, terutama identifikasi model-model parameter dengan menggunakan optimasi constraint bukanlah hal yang baru dan secara luas penggunaannya untuk data tunggal dan data yang tidak pasti (data yang bersifat bias atau error random). Penyelesaian dari proses inversi untuk menentukan parameter model bergantung pada kemampuan secara sintetik dengan memberikan harga yang mendekati harga data eksperimen dengan cara melakukan pengulangan (iterasi) untuk mendapatkan hasil yang mendekati sebenarnya.



Gambar 4. Inversi gelombang Rayleigh

3. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode SASW dengan memanfaatkan penjaluran gelombang Rayleigh yang selanjutnya dilakukan analisis dispersi pada gelombang tersebut untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan pada lokasi penelitian. Pengambilan data dilakukan di daerah pasir putih Dalegan Gresik pada tanggal 20-21 April 2009. Pada penelitian ini dibuat 3 lintasan, lintasan pertama pada koordinat $06^{\circ}53'32,0'' - 06^{\circ}53'31,2''$ lintang selatan dan $112^{\circ}27'57,0'' - 112^{\circ}27'57,6''$ bujur timur. Lintasan kedua terletak pada koordinat $06^{\circ}53'31,2'' - 06^{\circ}53'31,7''$ lintang selatan dan $112^{\circ}27'57,6'' - 112^{\circ}27'58,4''$ bujur timur. Lintasan ketiga terletak pada koordinat $06^{\circ}53'31,7'' - 06^{\circ}53'32,0''$ lintang selatan dan $112^{\circ}27'58,4'' - 112^{\circ}27'59,7''$ bujur timur. Metode penelitian ini menggunakan metode seismik

refraksi dengan cara *forward shooting* dan *reverse shooting*. Sebagai *source* (sumber getaran) digunakan *weight drop* dengan massa 30 kg yang dijatuhkan dari katrol setinggi 4 meter dan merekam sinyal *transient* yang terjadi. Sebagai *receiver* (penerima) digunakan *geophone* sebanyak 12 buah yang dihubungkan pada alat *receiver* McSEIS-SX Model 1125A. Jarak total lintasan pada akuisisi data ini berjarak 114 meter dengan perincian sebagai berikut : jumlah *shot* sebanyak 6 kali, *near offset* (jarak sumber dengan penerima pertama) 5 meter *far offset* (jarak sumber dengan penerima terjauh) 38 meter, jarak antar *geophone* 3 meter. Dari akuisisi data ini didapatkan *raw data* (data mentah) seismik yang berformat *.ORG. *Raw data* ini berupa *trace-trace* seismik dari *geophone* yang merekam waktu tempuh gelombang dan *event* seismik.

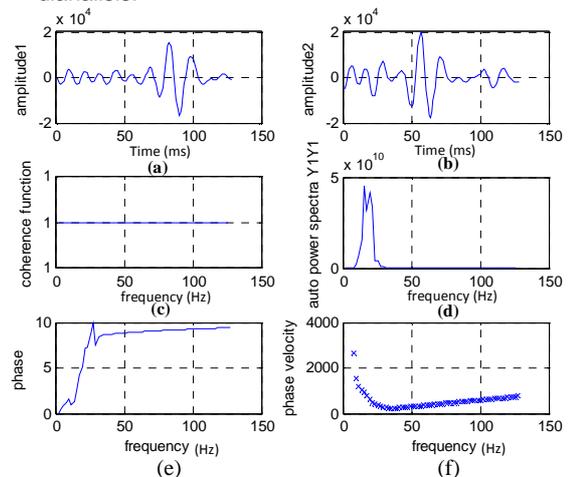
Kecepatan partikel yang diterima oleh dua *geophone* digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap kecepatan gelombang Rayleigh sebagai fungsi frekuensi. Tahap ini meliputi perhitungan perbedaan waktu tiba pada dua *geophone* dengan spasi dalam satu line sehingga diperoleh besar kecepatan gelombang.

Data yang diambil dengan menggunakan *Receiver* seismik McSEIS-SX model 1125A, kemudian diproses dengan menggunakan *software* Visual SUNT. *Software* ini juga digunakan untuk melakukan pemfilteran dan menghasilkan data dalam format ASCII. Dua data signal dalam domain waktu ($y_1(t)$ dan $y_2(t)$) pertama-tama diubah dalam domain frekuensi dengan menggunakan transformasi Fourier, sehingga didapatkan $Y_1(f)$ dan $Y_2(f)$. Dengan menggunakan analisa spektrum dimungkinkan memperoleh informasi tentang kualitas data dan juga kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi. Kualitas sinyal diperoleh dengan menggunakan "kohorensi fungsi" yang merupakan perbandingan linieritas antara hasil perekaman oleh dua *geophone*. Dalam hal ini nilai yang mendekati satu menunjukkan tingkat korelasi yang baik sehingga dapat diketahui apakah data dipengaruhi oleh *noise* atau tidak.

Kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi diperoleh dari fase *Cross Power Spectrum*, yang nilainya digunakan untuk membuat kurva dispersi observasi. Proses inversi dilakukan untuk mendapatkan profiling kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman tanah. Dalam proses inversi ini diperlukan nilai parameter bumi sebagai tebakan awal yang kemudian digunakan untuk menentukan kecepatan gelombang geser secara teori sehingga didapatkan kesalahan yang lebih kecil dari kesalahan toleransi. Setelah profiling kecepatan gelombang geser dari kedalaman tanah tiap *common midpoint* didapatkan, kemudian data kecepatan gelombang geser tersebut diproses menggunakan *software* RockWorks dan *sufer* 8 sehingga didapatkan model 2D lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser.

4. Analisis Data

Data yang sudah digitalisasi dalam bentuk format *.txt. selanjutnya diolah dengan menggunakan *software* MatLab untuk membuat kurva dispersi. Proses pembuatan kurva dispersi dilakukan dengan menggunakan analisa spectrum gelombang Rayleigh. Tahapan awal yang dilakukan dalam analisis spectrum untuk mendapatkan kurva dispersi adalah merubah domain data yang berupa fungsi waktu menjadi fungsi frekuensi dengan menggunakan DFT (*Discrete Fourier Transform*). Algoritma ini, dapat mengubah domain waktu ke domain frekuensi secara cepat dengan mensyaratkan banyaknya data sebesar 2^n . Hasil DFT yang berupa bilangan kompleks dapat ditampilkan sebagai pasangan nilai riil dan imajiner atau dalam bentuk amplitudo ($A(\omega)$) dan fase ($\phi(\omega)$), sehingga kecepatan gelombang Rayleigh dapat diperoleh dengan menghitung *time phase delay* antara pasangan *geophone* dengan jarak tertentu, dimana dalam penelitian ini jarak antar *geophone* 3 meter. Hasil akhir yang diperoleh dalam proses ini adalah kurva dispersi yang menunjukkan kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi dan koherensi kedua sinyal yang dianalisis.



Gambar 5. Proses analisis kurva dispersi (a) rekaman seismogram 1, (b) rekaman seismogram 2, (c) koherensi sinyal (d) auto power spektra gelombang pada geophone 1 (e) fase gelombang sebagai fungsi frekuensi, dan (f). kurva dispersi yang menunjukkan kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi.

Menurut Foti (1999) koherensi digunakan untuk mengetahui kualitas sinyal terhadap noise. Dimana kualitas sinyal dikatakan bagus, jika nilai koherensinya mendekati satu. Pada gambar (5) memperlihatkan koherensi sinyal pasangan *geophone* emenunjukkan nilai satu, sehingga dapat dikatakan kualitas data yang digunakan dalam penelitian ini baik.

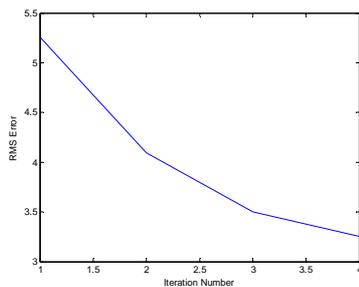
Dari kurva dispersi yang dihasilkan pada masing-masing lintasan kemudian dilakukan inversi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser terhadap

kedalaman. Dalam proses inversi ini dibutuhkan parameter awal berupa kecepatan gelombang geser, densitas, ketebalan lapisan dan *Poisson Ratio*. Parameter – parameter awal ini parameter awal ini menjadi nilai awal dari iterasi yang dilakukan. Penentuan parameter ini berdasarkan tabel kecepatan gelombang seismik di dalam berbagai jenis batuan. Berdasarkan kondisi geologi pada daerah penelitian diketahui bahwa jenis permukaan tanahnya adalah pasir (*Sand*) sehingga parameter awal yang digunakan adalah parameter untuk pasir.

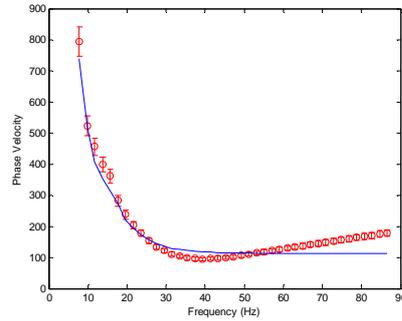
Tabel 1. Parameter awal proses inversi gelombang Rayleigh (daerah pasir putih Dalegan Gresik, 20-21 April 2009)

Kedalaman (m)	Densitas (g/cm ³)	Poisson Ratio	Vs Mula (m/s)
0 – 2	2.0	0.4	100
2 – 6	2.0	0.4	250
6 – 8	2.0	0.4	300
8 – 10	2.0	0.4	350
10 – 13	2.0	0.4	480
13 – 16	2.0	0.4	580
16 – 21	2.0	0.4	640
21 – 26	2.0	0.4	650
26 – 31	2.0	0.4	660
31 – 36	2.0	0.4	680
36 – 41	2.0	0.4	685
41 – 46	2.0	0.4	800
46 – 52	2.0	0.4	900
51 - 55	2.0	0.4	1000

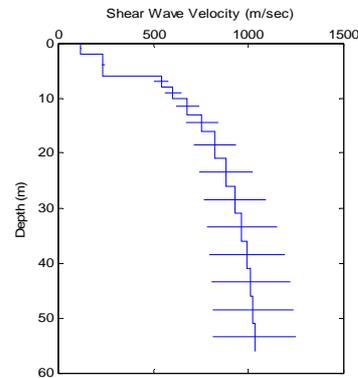
Parameter-parameter awal tersebut diestimasi dengan menggunakan persamaan gelombang Rayleigh untuk mendapatkan nilai kecepatan fase model gelombang Rayleigh sebagai fungsi frekuensi. Kecepatan gelombang Rayleigh model ini kemudian dibandingkan dengan kecepatan gelombang Rayleigh hasil penelitian sehingga didapatkan nilai *error*. Nilai *error* ini akan menentukan apakah perlu dilakukan iterasi atau tidak dan inversi selesai. Apabila nilai *error* lebih besar dibandingkan dengan yang diinginkan (*error* = 4.0) maka dilakukan penghitungan kecepatan gelombang Rayleigh yang baru untuk menghasilkan *error* yang lebih rendah sampai mendapatkan *error* yang diinginkan. rendah sampai mendapatkan *error* yang diinginkan.



Gambar 6. Hubungan RMS Error dengan iterasi



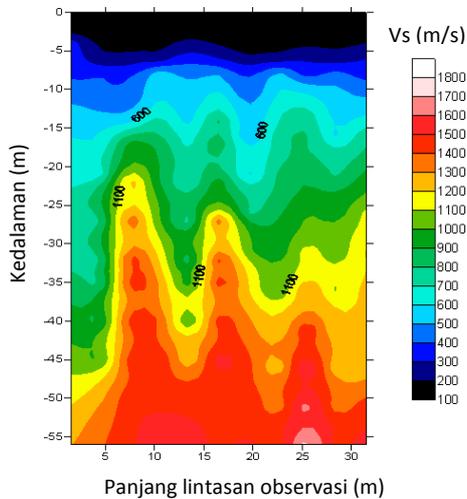
Gambar 7. Kecepatan fase hasil teori dan percobaan.



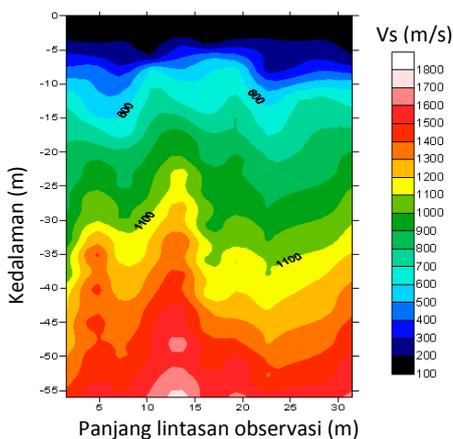
Gambar 8. Profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman

5. Interpretasi

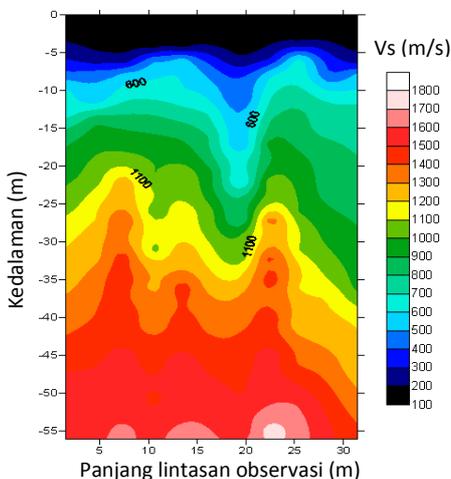
Hasil seluruh estimasi kecepatan gelombang geser dari proses inversi akan mencerminkan struktur bawah permukaan. Dimana Tiap pasangan *geophone* akan menghasilkan satu profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman. Profil kecepatan ini mencerminkan kecepatan gelombang geser antara pasangan *geophone*. Estimasi kecepatan gelombang geser sebagai fungsi kedalaman dilakukan dengan cara menginversikan kurva dispersi seluruh pasangan *geophone* yang terdekat. Selanjutnya profil kecepatan gelombang geser dikompilasi untuk mendapatkan pemodelan per lapisan kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman yang dapat ditampilkan secara dua dimensi menggunakan *software Surfer 8* seperti yang ditunjukkan pada gambar 9, gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 9 Pemodelan kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan 1



Gambar 10 Pemodelan kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan 2



Gambar 11 Pemodelan kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan 3

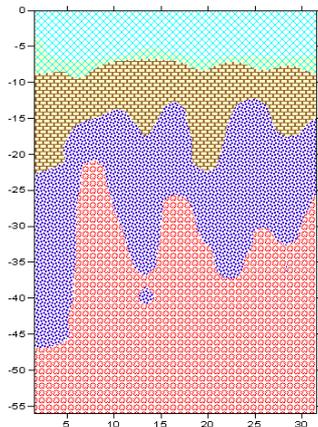
Dari pemodelan kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman didapatkan citra kecepatan gelombang geser sebagai fungsi posisi pada masing-masing lintasan yaitu lintasan 1 mempunyai range kecepatan antara 103 m/s sampai 1763 m/s, lintasan 2 mempunyai range kecepatan antara 108 m/s sampai dengan 1761 m/s dan lintasan 3 mempunyai range kecepatan antara 103 m/s sampai 1761 m/s.

Dari nilai range percepatan gelombang geser pada masing-masing lintasan terlihat bahwa meskipun tanah berada dalam satu kelas yang sama namun terdapat perbedaan variasi pada nilai kecepatan gelombang geser (S-Waves). Hal ini terjadi karena karakteristik cepat rambat gelombang-S yang semakin meningkat secara linier terhadap kedalaman tanah. Tanah yang lebih padat akan memperlambat gelombang lebih cepat daripada tanah yang lapuk. Tanah yang padat mempunyai porositas yang lebih kecil dan densitas yang lebih besar dari pada tanah yang lapuk.

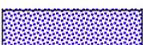
Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa kecepatan gelombang seismik berbanding terbalik dengan porositas dan berbanding lurus dengan besarnya densitas dan kekompakan batuan. Hasil nilai range kecepatan gelombang geser pada penelitian ini, bila dikorelasikan dengan informasi geologi menurut Sukardi (1992), geologi wilayah penelitian terdiri dari aluvium yang tersusun atas kerakal, kerikil, pasir dan lempung. Informasi geologi ini, bila dikomparasikan dengan nilai kecepatan gelombang geser berbagai batuan maka hasil interpretasi kondisi geologi struktur bawah permukaan secara umum dapat diprediksikan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2 Prediksi dominasi jenis struktur lapisan bawah permukaan di daerah pasir putih Dalegan Gresik

Kedalaman (m)	Jenis struktur lapisan	Vs (m/s)
0 – 5	Pasir kering, dan pasir tersaturasi	100 – 300
5 – 10	Pasir tidak terkonsolidasi	150 – 600
10 – 20	Pasir tidak terkonsolidasi, dan pasir porous	600 – 1000
20 – 55	Pasir Porous , lempung porous dan batuan pasir	1000-1800



Keterangan :

-  Pasir kering, dan pasir tersaturasi
-  Pasir tidak terkonsolidasi
-  Pasir tidak terkonsolidasi, dan pasir porous
-  Pasir Porous , lempung porous dan batuan pasir

Gambar 12. Dugaan struktur geologi bawah permukaan di daerah pasir putih Dalegan Gresik

Dari tabel dominasi jenis struktur lapisan bawah permukaan di atas maka dapat dikatakan bahwa :

- Karakteristik pantai daerah penelitian termasuk jenis pantai kerikil pasiran yang dicirikan dengan relief rendah hingga sedang, tipe pantai berteluk dan bertajung, batuan tersusun atas kerikil, pasir halus hingga kasar, batuan beku berwarna hitam keabuan.
- Geomorfologi daerah penelitian masuk dalam satuan dataran aluvial yang terdiri dari dataran pantai, rawa dan sungai, batuan tersusun atas lempung, lanau, pasir dan kerikil.

Kesimpulan

Dari hasil akuisisi data, analisa data, dan interpretasi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Gelombang Rayleigh merupakan salah satu jenis gelombang permukaan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur perlipisan bawah permukaan bumi.
- 2) Analisa dispersei gelombang Rayleigh mampu memetakan struktur perlipisan bawah permukaan bumi berdasarkan kecepatan gelombang geser (Vs) yang merambat sepanjang lintasan observasi dan mampu memberikan penggambaran struktur lapisan bawah permukaan pada daerah penelitian hingga kedalaman 55 meter.

- 3) Karakteristik cepat rambat gelombang-S yang semakin meningkat secara linier terhadap kedalaman tanah, menyebabkan perbedaan variasi pada nilai kecepatan gelombang geser (S-Waves) pada masing-masing lintasan meskipun tanah dalam satu daerah.
- 4) Nilai kecepatan gelombang geser dari proses inversi bila dikorelasikan dengan tabel nilai kecepatan gelombang geser berbagai batuan. Maka sampai kedalaman 55 m struktur perlipisan bawah permukaan didominasi oleh pasir, mulai pasir kering sampai batuan pasir.

Pustaka

Agus Abdullah, (2008), *Ensiklopedi Seismik Online*, <http://ensiklopediseismik.blogspot.com>.

Lai, C.G, (1998), *Simultaneous Inversion of Rayleigh Phase Velocity and Attenuation for Near-surface Site Characterization*, PhD Diss, Georgia Inst. Of Teehn, Atlanta.

Lay, Thorne dan Wallace, Terry C, (1995) *Modern Global Seismologi*, Academic Press, San Diago New York.

Lowrie, William, (2007), *Fundamentals Of Geophysics*, Second Edition Cambridge University Press.

Rosyidi, Sri Atmajaya P, (2004) *Penerapan Teknik SASW terpadu Sebagai Teknik Penilaian Strudur Jalan*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Santoso, DJoko, (2002), *Seismologi Eksplorasi*, Departemen Teknik Geofisika ITB

Santosa, Bagus Jaya, (2002), *Seismologi, Modul Ajar*, Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.

Schon,J.H, (1998), *Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics*, Institute of Aplied Geophysics, Leoben Austria

Sukardi, (1992), *Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

