



STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PANTAI SEMARANG BERDASARKAN METODE HVSR

M Irham Nurwidyanto*¹, M Zainuri², Anindya Wirasatrya³, Gatot Yuliyanto⁴

¹ Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

^{2,3} Departemen Oseanografi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

⁴ Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*corresponding author: irhammn@gmail.com

Received 2022-10-30, Revised 2023-01-06, Accepted 2023-02-17

Available Online 2023-04-06, Published Regularly April 2023

ABSTRACT

The aim of this study was to obtain a profile for each depth of the subsurface structure of the Semarang coast based on microtremor data. The acquisition of 109 data points in this study was taken using a single-station microtremor tool in the coastal area of Semarang. This study uses the HVSR method to produce the HV curve, amplification factor (A_0) and dominant frequency (f_0) which can later be used to find the values of v_p , v_s and v_p/v_s at each depth. The results obtained in this study include A_0 of 0.13 - 5.96, f_0 of 0.13 - 7.47 Hz, v_s of 154.42 - 1444.404 m/s, v_p of 266.40 - 4758.37 m/s and v_p/v_s of 1,421 - 28,674. Based on the v_s analysis, bedrock begins to appear at a depth of 100 m in the eastern and southern parts of West Semarang District and the southern part of North Semarang District. Classification of hard soil, very dense and soft rock from a depth of 100 m shows that it has covered most of the area of Semarang City. However, there are still several areas that still have a medium soil classification, namely most of the areas of Gayamsari District, Genuk District and Pedurungan District, as well as a small part of the area of North Semarang District, West Semarang District and Central Semarang District. Analysis of v_p/v_s at a depth of 150 m showed a v_p/v_s classification with a range of 1.4 - 2 in the study area. However, there are still several areas that still have v_p/v_s values with a value range of 3 - 3.2, namely in the northern part of West Semarang District, eastern Central Semarang District, eastern South Semarang District, northern East Semarang District, northern Gayamsari District, and the central part of Genuk District.

Keywords: Semarang Coast; subsurface; microtremor

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan profil tiap kedalaman dari struktur bawah permukaan pantai Semarang berdasarkan data mikrotremor. Akuisisi 109 titik data pada penelitian ini telah diambil menggunakan alat mikrotremor stasiun tunggal di daerah pantai Semarang. Penelitian ini menggunakan metode HVSR dalam menghasilkan kurva HV, faktor amplifikasi (A_0) dan frekuensi dominan (f_0) yang nantinya dapat digunakan dalam mencari nilai v_p , v_s dan v_p/v_s pada tiap kedalaman. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini meliputi A_0 sebesar 0,13 - 5,96, f_0 sebesar 0,13 - 7,47 Hz, v_s sebesar 154,42 - 1444,404 m/s, v_p sebesar 266,40 - 4758,37 m/s dan v_p/v_s sebesar 1,421 - 28,674. Berdasarkan analisis v_s , batuan dasar mulai terlihat pada kedalaman 100 m pada daerah Kecamatan Semarang Barat bagian timur dan selatan serta Kecamatan Semarang Utara bagian selatan. Klasifikasi tanah keras, sangat padat dan batuan lunak dari kedalaman 100 m menunjukkan sudah mencakup sebagian besar dari wilayah Kota Semarang. Namun masih terdapat beberapa daerah yang masih terdapat klasifikasi dari tanah sedang yaitu sebagian besar wilayah Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Genuk dan Kecamatan Pedurungan, serta sebagian kecil dari wilayah Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Barat dan Kecamatan Semarang Tengah. Analisis v_p/v_s kedalaman 150 m menunjukkan adanya klasifikasi v_p/v_s dengan rentang nilai 1,4 - 2 di daerah penelitian. Namun masih ada beberapa daerah yang masih memiliki nilai v_p/v_s dengan rentang nilai 3 - 3,2 yaitu pada daerah Kecamatan Semarang Barat bagian utara, Kecamatan

Semarang Tengah bagian timur, Kecamatan Semarang Selatan bagian timur, Kecamatan Semarang Timur bagian utara, Kecamatan Gayamsari bagian utara dan Kecamatan Genuk bagian tengah.

Kata kunci: pantai Semarang; bawah permukaan; mikrotremor

PENDAHULUAN

Geologi daerah Semarang utara merupakan daerah yang tersusun atas dataran aluvium pantai^[1]. Hal tersebut didukung oleh beberapa penelitian yang berada di daerah Semarang utara seperti data borehole, Geolistrik dan data GPR. Data borehole pada daerah Kelurahan Panggung Lor menunjukkan adanya lapisan tanah timbunan yang memiliki tebal sekitar 5 m, tanah lanau kelempungan serta lanau kepasiran dengan ketebalan sekitar 5,5 m, dilanjutkan dengan lempung ketebalan 25,5 m dan juga tanah lempung kelanauan serta lempung kepasiran dengan ketebalan mencapai 6 m^[2]. Menurut Raharjo^[3] data GPR mengenai geologi bawah permukaan dari daerah pesisir Pantai Marina merupakan endapan lempung atau sedimen pasir yang merupakan alluvium yang memiliki kadar air laut yang tinggi. Daerah pesisir tersebut ditutup oleh sedimen laut dengan daya dukung tanah yang rendah akan mengakibatkan terjadinya penurunan tanah. Data Geolistrik menunjukkan adanya intrusi air laut pada bagian timur, barat laut serta selatan dari Kaligawe, yang memiliki resistivitas dengan rentang 2,07 sampai 13,2 Ω m di kedalaman 0 sampai dengan 35 m di bawah permukaan tanah. Berdasarkan dari beberapa penelitian tersebut masih diperlukan suatu metode yang dapat mengidentifikasi respon lapisan bawah permukaan tanah di daerah pantai Semarang^[4].

Metode HVSR merupakan metode Geofisika yang dapat menjadi solusi dalam permasalahan identifikasi respons lapisan bawah permukaan tanah. Pengolahan data dalam metode ini dapat menghasilkan nilai f_0 , kurva H/V, periode serta A_0 . Inversi yang dilakukan dalam penelitian ini kemudian akan mendapatkan nilai v_s , v_p , v_p/v_s dan juga kedalaman yang nantinya dapat digunakan dalam identifikasi struktur bawah permukaan pantai Semarang. Kecepatan gelombang transversal (v_s) dapat mempengaruhi nilai kecepatan gelombang serta dapat menunjukkan ketebalan sedimen melalui perambatan gelombang^[5]. Analisis profil pada gelombang transversal (v_s) dapat digunakan dalam menentukan batuan dasar dan lapisan sedimen berdasarkan nilai kontras gelombang transversal, serta kedalaman lapisan^[6]. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan profil tiap kedalaman dari struktur bawah permukaan pantai Semarang.

Geologi Daerah Semarang

Peta geologi Kota Semarang^[7] menunjukkan, stratigrafi Wilayah Semarang tersusun dari batuan Gunungapi Gajahmungkur (Qhg), batuan Gunungapi Kaligesik (Qpk), Formasi Damar (Qtd), Aluvium (Qa), Formasi Kaligetas (Qpkg), Formasi Jongkong (Qpj), Formasi Kalibeng (Tmkl), dan Formasi Kerek (Tmk). Daerah Semarang sebagian besar tertutup oleh endapan-endapan alluvium sepanjang pantai utara, hal ini diperkuat oleh Sampurno^[14] yang menunjukkan bagian utara kota Semarang tersusun dari dataran aluvium pantai dan daerah selatan kota Semarang berupa perbukitan.

Berdasarkan topografinya pantai yang berada di daerah Semarang memiliki kenampakan topografi yang datar serta memiliki persentase kemiringan sekitar 0-2%. Sebagian besar wilayah dari pantai Semarang hampir sama dengan ketinggian dari permukaan laut dan di beberapa wilayah lebih rendah. Permasalahan yang sering dihadapi Kota Semarang mengenai topografi wilayah ini adalah genangan air pasang, penurunan tanah dan banjir pada musim hujan^[8]. Data Gravity menunjukkan, nilai Anomali Bouger di wilayah Kota Lama memiliki nilai 10,58 mGal sampai dengan 11,65 mGal. Nilai anomali Bouger menunjukkan semakin keutara maka nilai anomaly bouger semakin rendah, sehingga dapat dikatakan

semakin ke utara maka struktur batuanannya memiliki densitas yang rendah^[9]. Menurut Widada^[10], ketebalan lapisan lunak di daerah tanah mas, Pelabuhan Tanjung mas dan daerah sekitar terboyo adalah 12 - 20 m.

Mikrotremor

Mikrotremor merupakan suatu getaran harmonik alami di dalam tanah pada lapisan sedimen batuan dan mengalami pantulan akibat dari adanya suatu bidang batas antara tiap lapisan yang memiliki frekuensi konstan disebabkan oleh adanya suatu getaran mikro di bawah permukaan tanah. Karakteristik dari mikrotremor sangat berkaitan dengan kondisi struktur di bawah permukaan tanah di lokasi penelitian dalam mengetahui kondisi lapisan tanah dibawah permukaan. Pengukuran mikrotremor dapat digunakan dalam menentukan sifat getaran di dalam lapisan bawah permukaan tanah^[11]. Tingkat kekerasan tanah yang tinggi dapat digambarkan dengan nilai dari periode natural tanah (T_0) yang kecil. Nakamura menjelaskan rasio dari spektrum horizontal dan spectrum vertikal pada pengukuran mikrotremor dapat meningkat di frekuensi resonansi serta menunjukkan nilai puncak pada frekuensi tersebut. Nakamura mengandaikan bahwa nilai dari H/V dapat merefleksikan tingkat penguatan atau amplifikasi dari tanah^[5].

Inversi

Menurut Menke^[12] teori inversi dapat di definisikan sebagai gabungan dari metode matematis dan statistic yang dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai fenomena yang ditinjau berdasarkan pengamatan terhadap sistem tersebut. Hasil dari pengamatan terhadap suatu sistem disebut data dan informasi yang diinginkan dari data tersebut adalah persamaan model sistem. Menurut Lay dan Wallace^[13], model dapat diwakilkan dengan parameter \mathbf{m} , dan data dapat diwakilkan oleh parameter \mathbf{d} . Kasus khusus dalam menghubungkan antara data dan parameter model pada suatu fungsi linier yang dituliskan sebagai;

$$\mathbf{d} = \mathbf{G} \mathbf{m} \quad (1)$$

dengan \mathbf{G} merupakan suatu matriks ($N \times M$) atau dapat disebut dengan matriks kernel. Matriks tersebut merupakan suatu fungsi dari forward modelling yang tidak terdapat elemen dari suatu parameter model^[14].

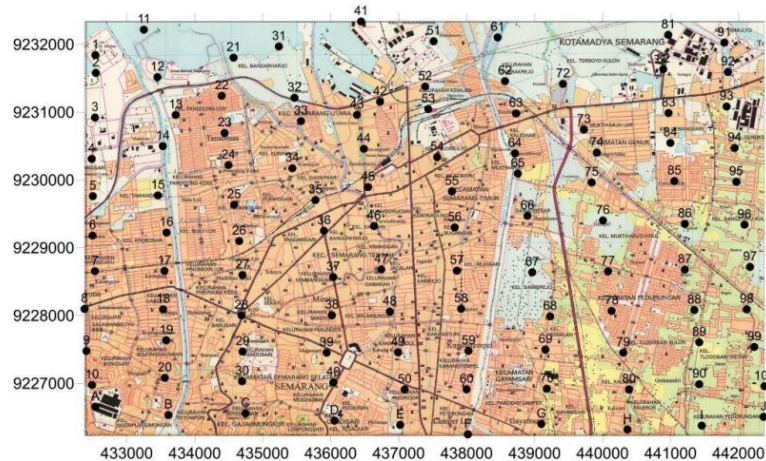
Penelitian ini menggunakan dinver sebagai aplikasi dari Inversi data yang menggunakan algoritma *Neighborhood Algorithm*. *Neighborhood Algorithm* memiliki algoritma sebagai berikut^[15]:

1. Menentukan set awal model n_s secara seragam (atau sebaliknya) pada suatu parameter.
2. Menghitung fungsi ketidaksesuaian model baru n_s dan menentukan model baru n_r dengan ketidaksesuaian terkecil dari model terakhir yang dihasilkan
3. Menghasilkan n_s model baru dengan melakukan *uniform random walk* di sel Voronoi dari masing masing nilai n_r model yang dipilih
4. Melanjutkan ke langkah ke 2

METODE

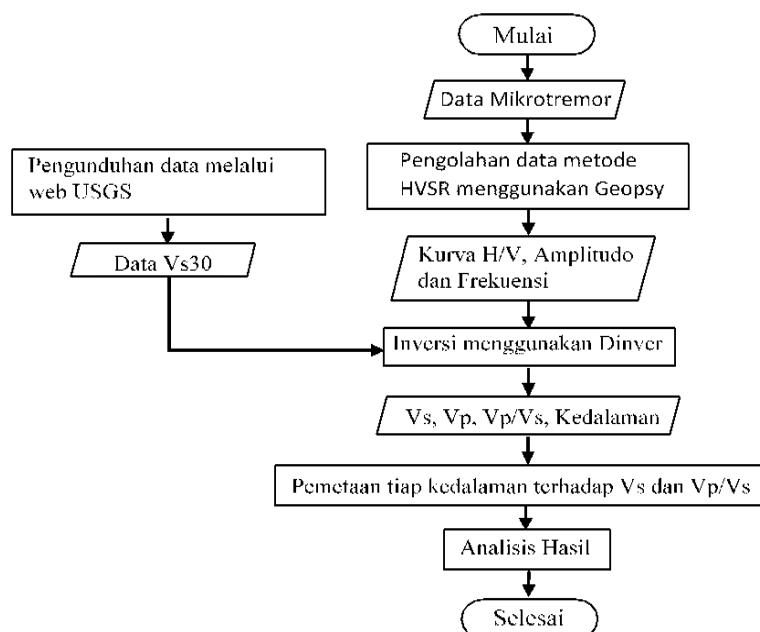
Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) ialah metode geofisika yang membandingkan spektrum horizontal dan spektrum vertikal pada mikrotremor yang telah direkam. Konsep dari metode HVSr ialah dengan mengasumsikan gelombang mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser serta menghilangkan gelombang permukaan. HVSr merupakan metode analisis berdasarkan pengamatan perambatan gelombang geser

akibat peristiwa gempa untuk berbagai kondisi geologi [5]. Fungsi dari metode HVSR ini juga dapat digunakan untuk menentukan nilai faktor amplifikasi serta periode dominan dari suatu lokasi yang dapat diasumsikan dari puncak kurva HVSR [11]. Nilai faktor amplifikasi serta periode dominan dapat diperoleh melalui pengolahan data dengan menggunakan software geopsy seperti yang tertera pada Gambar 2 mengenai diagram alir pengolahan data.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Pengambilan data primer dimulai dengan membuat desain survey pengukuran mikrotremor, dengan jarak tiap titik pengukuran yaitu 500-1000 m sekitar 109 titik yang dapat dilihat dalam Gambar 1 menggunakan Google Earth Pro. Pengambilan data pada tiap titik diawali dengan pengecekan alat dan pemasangan kabel pada data logger GL 240. Proses selanjutnya adalah menentukan arah Utara menggunakan kompas geologi untuk menentukan sumbu y, dan kemudian menyesuaikan bubble pada Seismograph tipe TDS – 303S berada tepat di tengah bull's eye level. Pengambilan data pada tiap titik dilakukan selama 10 menit. Pengolahan data pada penelitian ini digambarkan dalam Gambar 2 mengenai diagram alir pengolahan data pada penelitian ini.



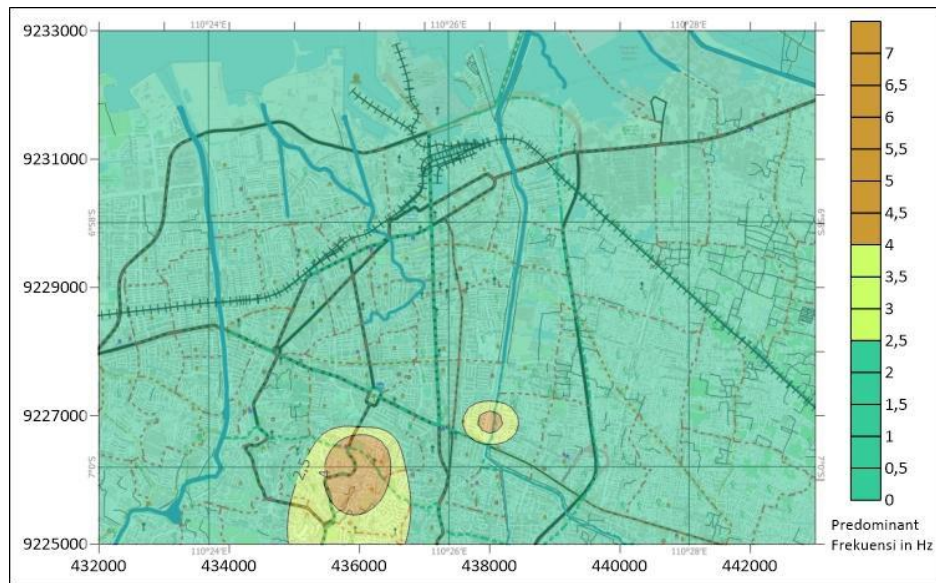
Gambar 2 Diagram Alir Pengolahan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai f_0 sangat berkaitan dengan kedalaman dari batuan dasar, nilai f_0 yang relative tinggi menunjukkan adanya batuan dasar yang dangkal dan sedimen yang tipis, sedangkan nilai f_0 yang rendah menunjukkan batuan dasar yang dalam dan lapisan sedimen yang tebal yang dapat dijelaskan dari Tabel 1 mengenai klasifikasi dari nilai f_0 [16]. Frekuensi dominan dipengaruhi oleh adanya kedalaman dan nilai v_s . Inversi diperlukan dalam memperoleh nilai v_s yang nantinya dapat digunakan dalam menentukan ketebalan dari tiap tiap lapisan tanah. Selain untuk menentukan ketebalan dari tiap tiap lapisan tanah nilai v_s dapat digunakan dalam menentukan kedalaman batuan dasar. Berdasarkan Gambar 3 mengenai hasil pemetaan nilai f_0 , nilai dari frekuensi dominan (f_0) di wilayah penelitian memiliki rentang nilai antara 0,13 sampai dengan 7,47 Hz. Distribusi dari frekuensi dominan pada daerah penelitian yang diklasifikasikan menurut kanai memiliki klasifikasi tipe 1 namun pada bagian Semarang Selatan dan Semarang Timur di bagian selatan memiliki frekuensi dominan dengan klasifikasi tipe 2 dan 3. Sehingga dapat disimpulkan pada analisis f_0 sebagian besar daerah penelitian memiliki batuan dasar yang dalam dan memiliki sedimen yang sangat tebal.

Tabel 1 Klasifikasi dari f_0 [16]

No	Tipe Klasifikasi Tanah	Frekuensi Natural	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
1	Tipe 1	< 2.5	Batuan alluvial terbentuk oleh sedimentasi, top soil, endapan lumpur yang termasuk dalam tanah lunak, tanah lunak, lumpur, humus sedalam 30 meter atau lebih	Ketebalan sedimen permukaan sangat tebal
2	Tipe 2	2.5 – 4	Batuan alluvial ketebalan kurang dari 5m, tersusun oleh lempung keras berpasir, tanah liat, pasir berkerikil, lempung dan sebagainya	Sedimen permukaan kategori kedalaman tebal, ketebalan sekitar 10 sampai dengan 30 m
3	Tipe 3	4 – 10	Batuan alluvial ketebalan 5m, tersusun oleh pasir berkerikil, tanah liat, lempung keras berpasir, lempung dan sebagainya	Sedimen permukaan kategori kedalaman sedang, ketebalan sekitar 5 sampai dengan 10 m
4	Tipe 4	6.667 - 20	Batuan tersier disusun oleh batuan pasir berkerikil keras	Sedimen permukaan yang memiliki kedalaman sangat tipis serta didominasi batuan keras

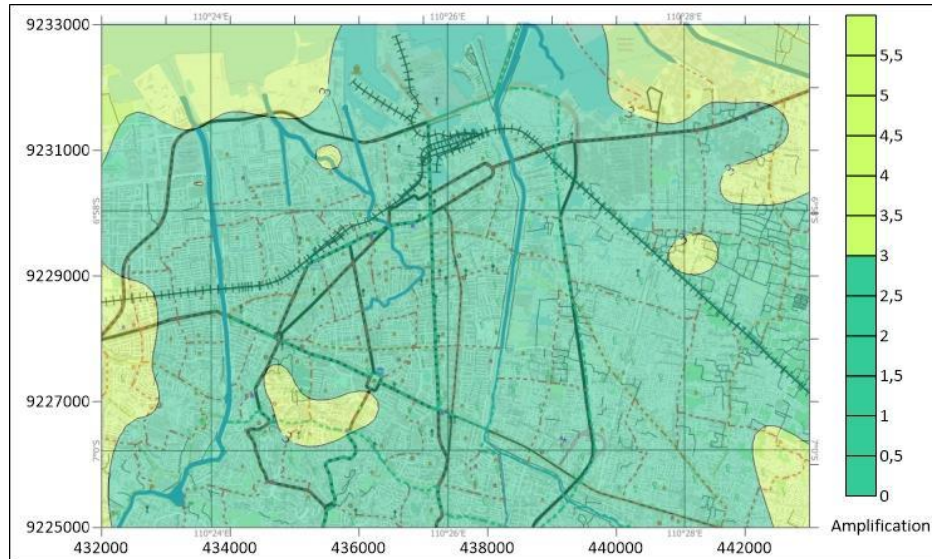


Gambar 3 Hasil pemetaan nilai f_0

Distribusi dari faktor amplifikasi (A_0) dapat dijelaskan dalam Gambar 4, yang memiliki kisaran nilai faktor amplifikasi dengan rentang antara 0,13-5,96. Faktor amplifikasi berkaitan erat dengan perbandingan kontras impedansi antara lapisan yang terdapat pada permukaan dengan lapisan yang berada di bawah permukaan tanah. Berdasarkan klasifikasi faktor amplifikasi^[17] oleh Sitorus (2017) yang dijelaskan oleh Tabel 2 mengenai klasifikasi nilai A_0 dapat diklasifikasikan daerah Kecamatan Semarang Barat di bagian utara dan barat, Kecamatan Semarang Utara bagian utara, Kecamatan Genuk bagian utara, Kecamatan Pedurungan bagian tenggara dan sebagian dari Semarang Selatan memiliki klasifikasi sedang dan berada pada zona 2. Sedangkan untuk daerah penelitian lainnya tergolong dalam klasifikasi rendah dan berada pada zona 1.

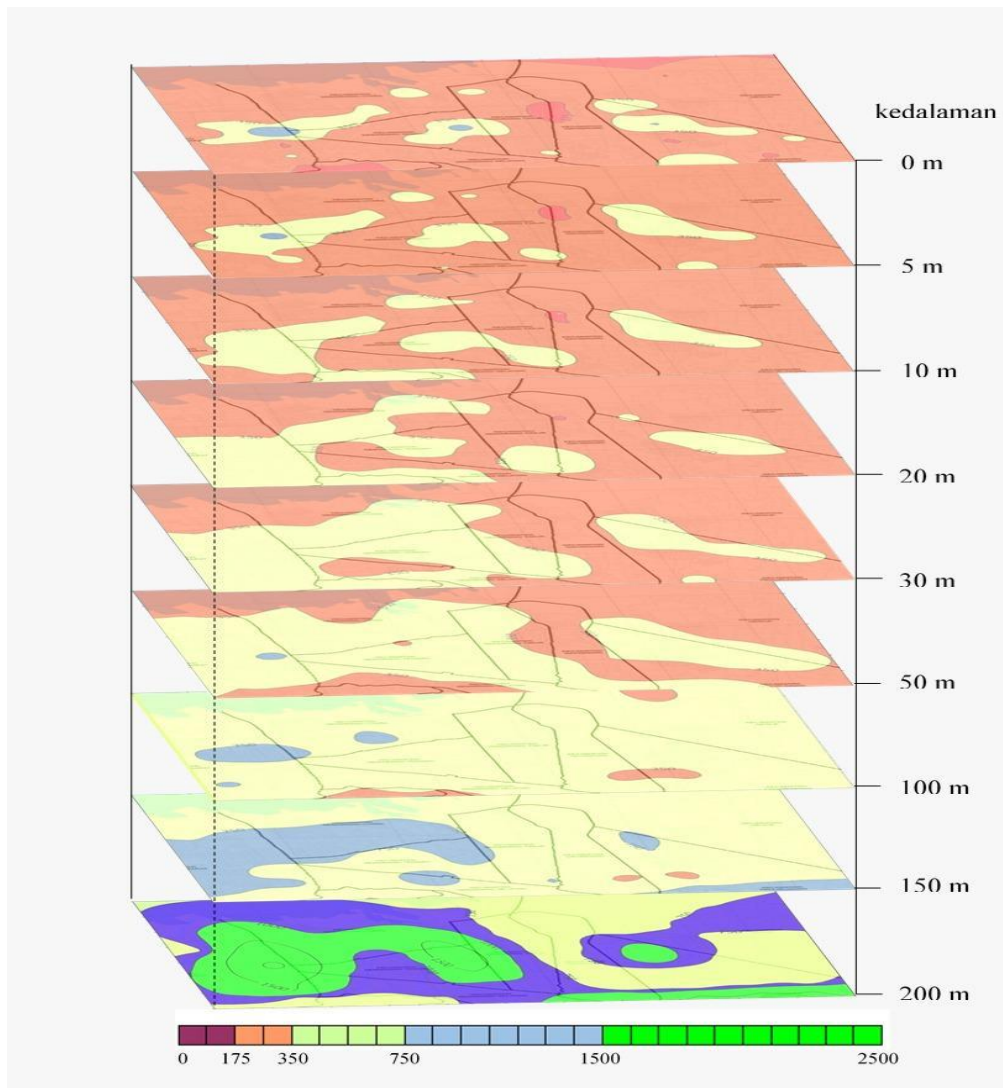
Tabel 2 Nilai klasifikasi A_0 ^[17]

No	Zona	Aspek klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	1	Rendah	$A_0 < 3$
2	2	Sedang	$3 < A_0 < 6$
3	3	Tinggi	$6 < A_0 < 9$
4	4	Sangat tinggi	$A_0 > 9$



Gambar 4 Hasil pemetaan nilai A_0

Hasil dari inversi terhadap kurva HV, A_0 dan f_0 adalah nilai v_p , v_s , v_p/v_s dan kedalaman. Menurut SNI 1726 (2019), nilai v_s dapat di klasifikasikan menjadi 5 bagian. Bagian pertama merupakan klasifikasi tanah lunak sebesar kurang dari 175 m/s. Bagian kedua merupakan klasifikasi dari tanah sedang yang memiliki nilai v_s sebesar 175 sampai 350 m/s. Bagian ketiga merupakan klasifikasi dari batuan lunak dan tanah keras, sangat padat yang memiliki nilai v_s sebesar 350 sampai dengan 750 m/s. Bagian keempat merupakan batuan dasar dengan v_s 750-1500 m/s. Bagian kelima merupakan batuan keras yang memiliki nilai v_s lebih dari 1500 m/s^[18]. Hasil dari nilai v_p/v_s dapat diklasifikasikan seperti mengacu pada Tabel 3 mengenai klasifikasi tanah dan batuan^[19]. Berdasarkan klasifikasi^[18] ^[19], dapat dijelaskan mengenai profil v_s dan v_p/v_s pada tiap-tiap kedalaman. Profil kedalaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0 (permukaan tanah), 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 150 dan 200 m. Profil v_s ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan profil v_p/v_s ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil A_0 sebesar 0,13 - 5,96, f_0 sebesar 0,13 - 7,47 Hz, v_s sebesar 154.42 – 1444.404 m/s, v_p sebesar 266.40 – 4758.37 m/s dan v_p/v_s sebesar 1.421 – 28.674.



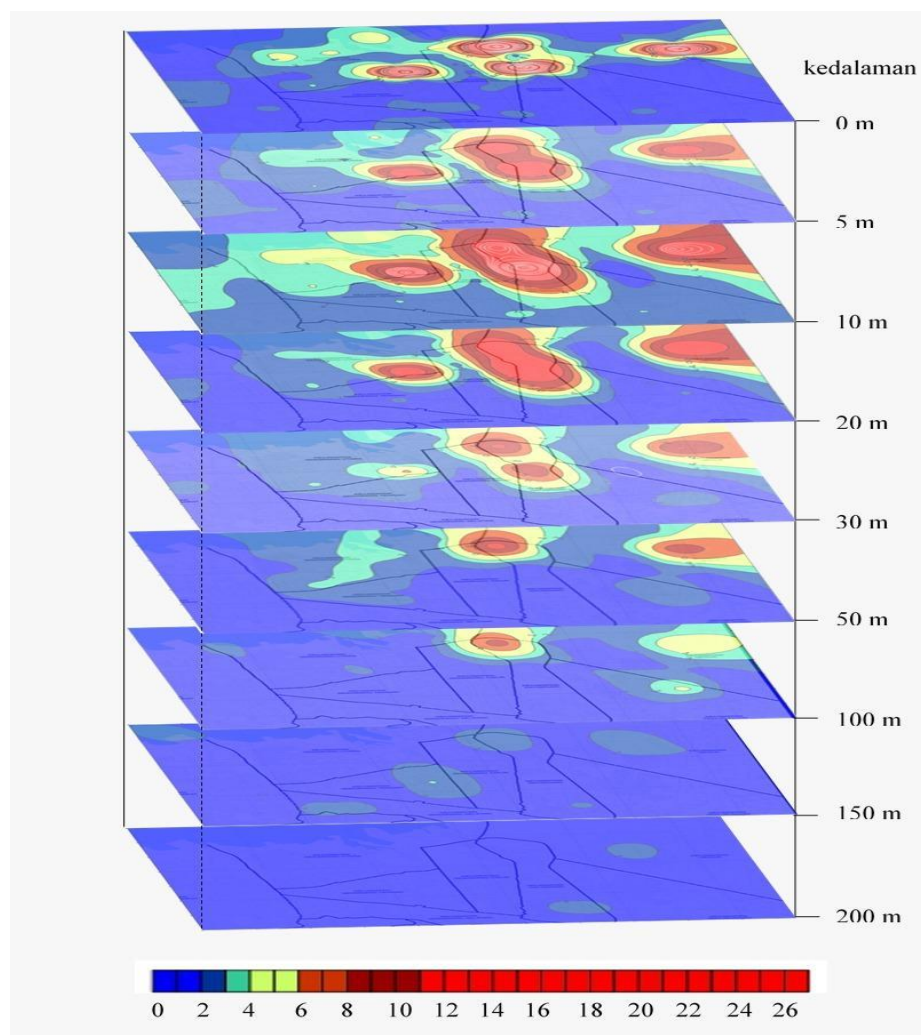
Gambar 5 Profiling v_s dengan tiap kedalaman

Analisis v_s pada Gambar 5 kedalaman 0-50 m memperlihatkan adanya peningkatan klasifikasi dari klasifikasi tanah lunak dan klasifikasi tanah sedang menjadi klasifikasi tanah keras, sangat padat dan batuan lunak di sebagian besar wilayah Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Tengah, Kecamatan Semarang Timur, dan Kecamatan Semarang Selatan serta sebagian kecil dari wilayah Kecamatan Pedurungan bagian utara. Batuan dasar mulai terlihat pada kedalaman 100 m pada daerah Kecamatan Semarang Barat bagian timur dan selatan serta Kecamatan Semarang Utara bagian selatan. Klasifikasi tanah keras, sangat padat dan batuan lunak dari kedalaman 100 m menunjukkan sudah mencakup sebagian besar dari wilayah Kota Semarang. Namun masih terdapat beberapa daerah yang masih terdapat klasifikasi dari tanah sedang yaitu sebagian besar wilayah Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Genuk dan Kecamatan Pedurungan, serta sebagian kecil dari wilayah Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Barat dan Kecamatan Semarang Tengah. Kedalaman 150 m menunjukkan adanya batuan dasar yang cukup luas ditemui yaitu pada daerah Kecamatan Semarang Barat bagian timur dan selatan, Kecamatan Semarang Utara bagian timur, barat, dan selatan, sebagian Kecamatan Pedurungan bagian utara, Semarang Selatan bagian utara dan Kecamatan Semarang Tengah. Pada kedalaman 200 m terdapat klasifikasi dari batuan keras di berbagai daerah seperti Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Tengah serta sebagian kecil dari daerah Kecamatan Semarang Timur, Kecamatan

Pedurangan dan Kecamatan Semarang Selatan. Klasifikasi dari tanah lunak dan klasifikasi dari tanah sedang juga sudah tidak terdapat pada kedalaman 200 m.

Tabel 3. Klasifikasi Tanah dan batuan ^[19]

No	Tipe tanah dan batuan	v_p	v_s	v_p/v_s	Faktor Keselamatan
1	Batuan Keras dan masif	6000-4200	4000-2700	1,45-1,5	1,5
2	Sangat kaku	4200-3000	2700-1500	1,5-2	1,5-2
3	Kaku	3000-2000	1500-700	2-3	2
4	Ke-kakuan sedang namun dapat berubah	2000-1500	700-400	3-4	3
5	Gembur dan lunak	1500-600	400-100	4-6	3-4
6	Lunak dan jenuh	>1300	>100	5-8	4-5



Gambar 6 Profiling v_p/v_s pada tiap kedalaman

Pada analisis v_p/v_s didapatkan adanya nilai yang lebih tinggi dari Tabel 1 ^[19] karena diperkirakan adanya kandungan air pada tanah. Kandungan air pada tanah tersebut disebabkan oleh adanya musim hujan pada saat melakukan pengambilan data. Tingginya nilai v_p/v_s

disebabkan karena gelombang s tidak dapat melewati air, sehingga perbandingan nilai antara nilai v_p dan nilai v_s kurang sesuai dengan Tabel 1 tersebut. Analisis v_p/v_s dalam Gambar 6 pada kedalaman 150 m menunjukkan adanya klasifikasi v_p/v_s dengan rentang nilai 1,4 - 2 di daerah penelitian. Namun masih ada beberapa daerah yang masih memiliki nilai v_p/v_s dengan rentang nilai 3 – 3,2 yaitu pada daerah Kecamatan Semarang Barat bagian utara, Kecamatan Semarang Tengah bagian timur, Kecamatan Semarang Selatan bagian timur, Kecamatan Semarang Timur bagian utara, Kecamatan Gayamsari bagian utara dan Kecamatan Genuk bagian tengah. Pada kedalaman 200 m menunjukkan masih adanya beberapa daerah yang masih memiliki nilai v_p/v_s dengan rentang nilai 3 – 4 yaitu pada sebagian kecil daerah Kecamatan Genuk dan Kecamatan Gayamsari bagian selatan. Pada Gambar 6 juga terlihat semakin dalam kedalaman maka nilai perbandingan antara nilai v_p dan v_s akan semakin kecil.

Kesimpulan

Penelitian dengan menggunakan metode HVSR mendapatkan hasil A_0 sebesar 0,13 - 5,96, f_0 sebesar 0,13 sampai 7,47 Hz, v_s sebesar 154.42 sampai 1444.404 m/s, v_p sebesar 266.40 sampai 4758.37 m/s dan v_p/v_s sebesar 1.421 sampai 28.674. Berdasarkan analisis v_s , batuan dasar mulai terlihat pada kedalaman 100 m pada wilayah Kecamatan Semarang Utara bagian selatan serta Kecamatan Semarang Barat bagian timur dan selatan. Klasifikasi tanah keras, sangat padat dan batuan lunak dari kedalaman 100 m menunjukkan sudah mencakup sebagian besar dari wilayah Kota Semarang. Namun masih terdapat beberapa daerah yang masih terdapat klasifikasi dari tanah sedang yaitu sebagian besar wilayah Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Genuk dan Kecamatan Pedurungan, serta sebagian kecil dari wilayah Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Barat dan Kecamatan Semarang Tengah. Analisis v_p/v_s kedalaman 150 m menunjukkan adanya klasifikasi v_p/v_s dengan rentang nilai 1,4 - 2 di daerah penelitian. Namun masih ada beberapa daerah yang masih memiliki nilai v_p/v_s dengan rentang nilai 3 – 3,2 yaitu pada daerah Kecamatan Semarang Barat bagian utara, Kecamatan Semarang Tengah bagian timur, Kecamatan Semarang Selatan bagian timur, Kecamatan Semarang Timur bagian utara, Kecamatan Gayamsari bagian utara dan Kecamatan Genuk bagian tengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih pada LPPM undip atas bantuan dana pada penelitian ini dengan kontrak pelaksanaan Tahun Anggaran 2020 Nomor: 329-56/UN7.6.1/PP/2020 Tanggal 20 April 2020. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih terhadap Ketua Laboratorium Geofisika Departemen Fisika FSM Universitas Diponegoro yang telah memberi pinjaman peralatan yang digunakan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Sampurno. 1979. Geologi Teknik daerah Semarang. *Prosiding Ikatan Ahli Geologi Indonesia*. 1-24.
- 2 Masvika, H., Cahyono, D. B. & Wanto, S. 2021. Pemodelan Kondisi Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Jalan Semarang Outer Ring Road (SORR). *Pengembangan Rekayasa dan Teknologi*. 17. 2. 53-61.
- 3 Raharjo, M. & Yosi M. 2017. The Identification of Land Subsidence by Levelling Measurement and GPR Data at Tanjung Emas Harbour Semarang. *Bulletin of the Marine Geology*. 32. 1. 44-50.

- 4 Hastuti, D., Ramdhani, F., Waskita, F., Virgiawan, G., Febrika, G. Y. dan Setyawan, A. 2015. Aplikasi Metode Geolistrik untuk Menyelidiki Intrusi Air Laut di Kawansan Pantai Kota Semarang (Kaligawe). *Youngster Physics Journal*. 4. 4. 317-322.
- 5 Nakamura, Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. Q.R. of R.T.I. 30-1. h.25-33
- 6 Von Seht M. I. & Wohlenberg J. 1999. Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 89. 1. 250–259.
- 7 Thanden, R.E., H. Sumadirdja, P.W., Richards, K., Sutisna & Amin, T.C. 1996. Peta Geologi Lembar Magelang Semarang Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- 8 Widada, S., Zainuri, M., Satriadi, A., Wijaya, Y. J. & Helmi, M. 2020. Mitigation of floodwater inundation due to land subsidence in the coastal area of Semarang City. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 530.
- 9 Liana, Y. R., Magdalena, T. M., Syarifah, W., Supriyadi, S. & Khumaedi, K. 2020. Analisis Anomali Bouguer Data Gaya Berat Studi Kasus di Kota Lama Semarang. 4. 2. 63-68.
- 10 Widada, S., Zainuri, M., Yulianto, G., Yuliyanto, T. & Sugianto, D. N. 2019. Identification ground layer structure of land subsidence sensitive area in Semarang city with horizontal to vertical spectral ratio method. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 246.
- 11 Nakamura, Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications, *The 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand*. 30 January-4 February 2000.
- 12 Menke, W. 1989. Geophysical data analysis-discrete inverse theory. Academic Press. New York.
- 13 Lay, T. & Wallace T. C. 1995. *Modern Global Seismology*. California. Geoscience Departement Univeristy Arizona Tucson.
- 14 Grandis, H. 2009. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- 15 Sambridge, M. 1999. Geophysical inversion with a neighborhood algorithm-I. Searching a parameter space. *Geophys. J. Int.* 138. 479-494.
- 16 Keçeli, A. 2012. Soil Parameters which Can Be Determined With Seismic Velocities. *Jeofizik*. 16. 17–29
- 17 Kanai, K., 1983, *Engineering Seismology*. Tokyo University: Japan.
- 18 SNI 1726, 2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- 19 Sitorus, N., Purwanto, S. dan Utama, W. 2017. Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR. *Jurnal Geosaintek*. 3(2), 89