



Studi Klasifikasi Jenis Tanah Dan Analisis Kecepatan Gelombang Geser Menggunakan Metode Inversi Hvsr Di Kota Serang, Banten

Sandy Tri Gustono^{1*}, Muhammad Bintang Nugroho², Bambang Sunardi³, dan Khairina Fauzi⁴

¹*Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika / Jl. Perhubungan I No. 5 Pondok Betung, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221*

²*Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika /Jl. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10720*

³*Stasiun Geofisika Sleman /Jl. Wates Km. 8, Dusun Jitengan, Kel. Balecat, Kec. Gamping, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55294*

⁴*Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah 2 Ciputat/Jl. H. Abd. Gani No.05, Cempaka Putih, Kec. Ciputat Timur, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412*

Email: sandytri.gustono@stmkg.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak

Kota Serang merupakan kota yang rawan gempa bumi. Untuk meminimalisasi dampak bencana, diperlukan identifikasi kondisi tanah yang dinamis dan lokal. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah mikrotremor. Pengukuran mikrotremor telah dilakukan oleh Tim Seismotek BMKG di seluruh wilayah Kota Serang. Selanjutnya, data mikrotremor diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk menganalisis kurva dan nilai frekuensi dominan. Kemudian metode inversi diterapkan pada hasil untuk mendapatkan model nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Hasil pemodelan kemudian digunakan untuk menghitung sebaran nilai V_{s30} dan klasifikasi jenis tanah serta dimodelkan secara 3-D untuk mengidentifikasi ketebalan sedimen di Kota Serang. Pengolahan data mikrotremor menunjukkan nilai frekuensi dominan di Kota Serang bervariasi. Nilai frekuensi dominan berkisar antara 0,57 hingga 14,27 Hz. Kemudian dari hasil inversi HVSr diperoleh V_{s30} di Kota Serang sekitar 190 – 1400 m/s. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut SNI 1726:2019, jenis tanah bervariasi dari tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), tanah keras dan batuan lunak (SC), dan terdapat 1 data dengan klasifikasi tanah batuan (SB). Nilai V_s cenderung rendah di wilayah utara dan timur dan semakin meningkat di wilayah selatan dan barat.

Kata kunci: HVSr, inversi HVSr, mikrotremor, kecepatan gelombang geser, V_{s30} .

Abstract

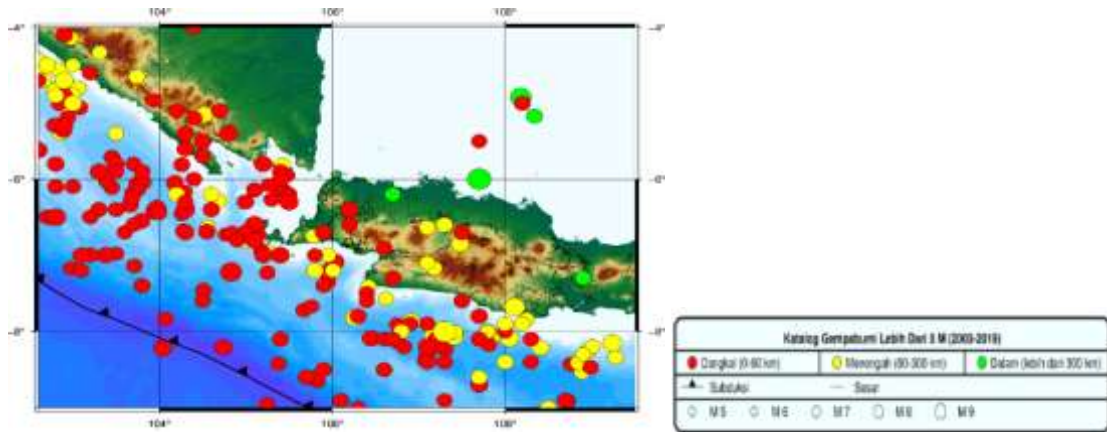
Serang City is a city that is prone to earthquakes. To minimize the disaster impact, the identification of dynamic and local soil conditions is needed. One of the methods that can be used is microtremor. Microtremor measurements have been carried out by the BMKG's Seismotek Team in all areas of Serang City. Furthermore, the microtremor data was processed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to analyze the predominant frequency curve and value. Then the inversion method is applied to the results to obtain the model of the shear wave velocity (V_s) values. The results of modeling are then used to calculate the distribution of V_{s30} values and classification of soil types and also modeled in 3-D to identify sediment thickness in Serang City. Microtremor data processing shows that the predominant frequency values in Serang City vary. The predominant frequency value ranges from 0,57 to 14,27 Hz. Then the results of the HVSr inversion obtained V_{s30} in Serang City around 190 – 1400 m/s. Based on the soil classification by SNI 1726:2019, the type of soil varies from soft soil (SE), medium soil (SD), hard soil, and soft rock (SC), and there is one 1 data with rock soil classification (SB). The value of the V_s tends to be low in the north and east areas and increases further in the south and west area.

Keywords: *HVSr, HVSr inversion, microtremor, shear wave velocity, V_{s30} .*

1. PENDAHULUAN

Provinsi Banten memiliki ibu kota yaitu Kota Serang. Menurut Badan Pusat Statistik (2019), jumlah penduduk di Kota Serang pada tahun 2019 mencapai 688.603 jiwa dengan kepadatan penduduk sekitar 2.582 jiwa/km². Jumlah penduduk terus bertambah karena kota ini adalah pusat administratif provinsi dan terletak di lokasi yang sangat strategis. Berada di pertengahan antara Kota Jakarta dan Pelabuhan Merak yang menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Sumatra ini mendorong pertumbuhan industri tidak hanya di Kota Serang namun seluruh kawasan Provinsi Banten.

Kota Serang merupakan wilayah rawan bencana gempa bumi. Hal ini dapat dijelaskan pada Gambar 1 yang merupakan peta seismisitas bersumber dari katalog gempa bumi BMKG. Pada gambar tersebut, terlihat banyak gempa bumi yang pernah terjadi sekitar Kota Serang. Gempa dengan kekuatan yang besar di zona subduksi getarannya dapat merambat dan terasa hingga Kota Serang. Sebagai contoh peristiwa gempa bumi Michoacan, Meksiko pada 19 September 1985. Gempa berkekuatan $M_s = 8,1$ ini mengakibatkan lebih dari 10.000 korban jiwa. Kerusakan sangat masif meskipun jarak episenter gempa tergolong jauh yaitu sekitar 400 km dari Kota Meksiko. Penyebab kerusakan adalah resonansi gelombang seismik dengan lapisan sedimen danau tua di bawah permukaan Kota Meksiko^[1].



Gambar 1. Peta Seismisitas Sekitar Banten tahun 2000-2019

Mikrotremor (*ambient noise*) adalah getaran yang disebabkan oleh dua sumber, yaitu alam dan manusia. Mikrotremor menggambarkan gelombang yang terus merambat pada lapisan sedimen dan memantul pada batas lapisan dengan frekuensi tetap^[2]. Data mikrotremor diolah dengan metode inversi *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVS_R)^[3] untuk menganalisis nilai kecepatan gelombang geser. Selanjutnya nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (Vs₃₀) digunakan untuk mengklasifikasi jenis tanah.

Pembangunan infrastruktur yang masif harus diiringi oleh persiapan yang mendalam agar bangunan terhindar dari segala macam bencana yang mengancam. Bangunan yang runtuh tidak hanya menyebabkan korban jiwa namun kerugian material dan ekonomi. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai distribusi nilai Vs₃₀, klasifikasi jenis tanah dan ketebalan sedimen di sekitar Kota Serang. Pembangunan Kota Serang kedepannya diharapkan dapat sesuai dengan standar SNI 1726:2019^[4].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara sistematis dengan jenis penelitian kuantitatif. Data diperoleh secara langsung dari wilayah Kota Serang dengan koordinat 6,034-6,215°LS dan 106,089-106,233°BT berupa data mikrotremor sebanyak 111 titik pengukuran dengan interval antar titik ± 2 kilometer (Gambar 2). Durasi perekaman berlangsung selama 60 menit. Adapun daftar peralatan yang digunakan dalam survei mikrotremor adalah Sensor digital portable seismograf, Digitizer, Global Position System (GPS) Garmin portable, Global Position System (GPS) antenna, Accu, Kompas geologi, Laptop akuisisi. Metode yang digunakan untuk pengolahan data adalah metode *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVS_R) dan inversi HVS_R. *Horizontal to Vertikal Spektrum Ratio* (HVS_R) adalah metode yang membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap vertikal pada gelombang mikrotremor^[5]. Hasil dari pengolahan HVS_R didapat nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Selanjutnya inversi dilakukan untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m.



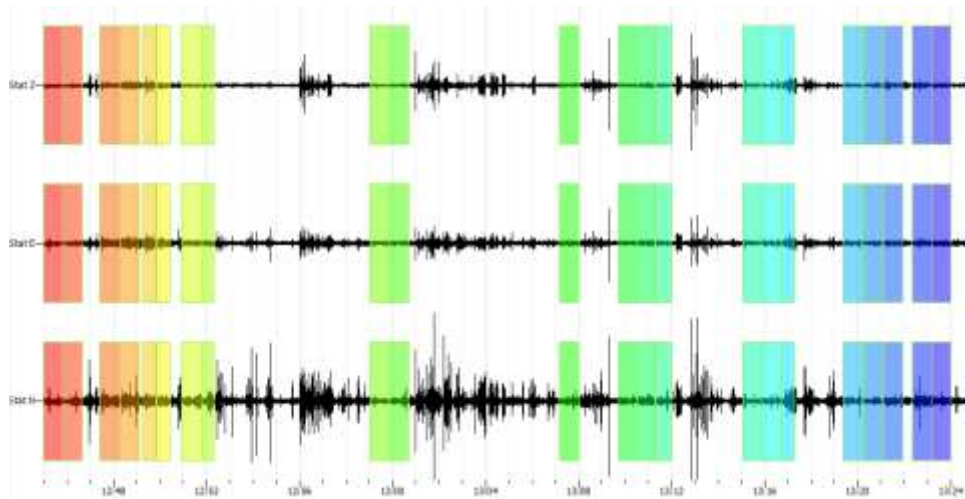
Gambar 2. Peta Titik Pengukuran Mikrotremor

HVSR dianggap sama dengan fungsi transfer antara getaran gelombang pada lapisan sedimen dan batuan dasar. Hal ini menunjukkan bahwa amplitudo dan frekuensi dominan merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi pada lapisan batuan tersebut [6]. Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang paling banyak muncul diantara nilai lainnya sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan jenis dan karakteristik batuan [7].

2.1. Pengolahan data menggunakan Geopsy

Pengolahan data mikrotremor dengan perangkat Geopsy bertujuan untuk memperoleh rata-rata spektrum H/V. Format data yang digunakan miniSEED. Pengaturan dasar yang ditetapkan pada menu h/v adalah dengan nilai *frequency sampling* 100 Hz, *range frequency* 0,5-15 Hz, dan *window length* 25 s. Geopsy akan mengolah gelombang mikrotremor yang memiliki frekuensi rendah. Untuk menentukannya dapat dengan cara mengatur nilai *short term average* (STA) dan *long term average* (LTA). STA adalah nilai rata-rata amplitudo jangka pendek (0,5-2,0 s) dan LTA adalah nilai rata-rata amplitudo jangka panjang (>10 s). Apabila terdapat gelombang yang melebihi nilai STA/LTA, maka gelombang tersebut dikategorikan sebagai event.

Gelombang yang terpilih akan masuk kedalam proses windowing sinyal seperti pada Gambar 3. Sinyal yang terpilih diolah dengan transformasi fourier pada setiap window dari masing-masing komponen untuk memperoleh spektrum fourier. Transformasi fourier bertujuan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. Selanjutnya amplitudo spektral fourier dari ketiga komponen dilakukan proses smoothing dengan fungsi Konno-Ohmachi.



Gambar 3. Proses *Windowing* pada Geopsy

Spektrum fourier selanjutnya diolah dengan fungsi HVSR menggunakan persamaan

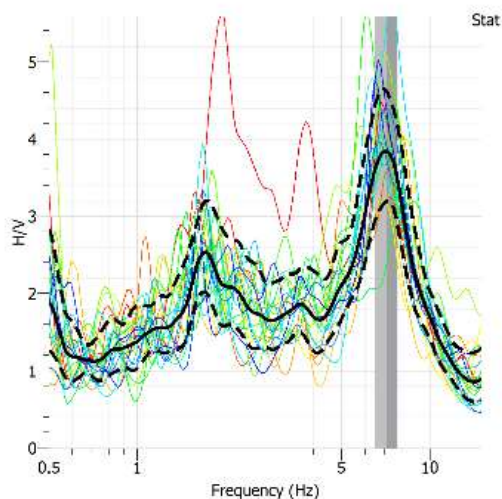
$$SM(w) = \frac{\sqrt{H_{NS}(w)^2 + H_{EW}(w)^2}}{Vs(w)} \quad (1)$$

$H_{NS}(w)$ adalah spektrum mikrotremor komponen utara-selatan dan $H_{EW}(w)$ adalah spektrum mikrotremor komponen timur-barat.

Setelah proses tersebut, maka didapat hasil akhir berupa rata-rata spektrum H/V seperti pada Gambar 4 dan nilai frekuensi dominan (f_0). Untuk memastikan data yang diolah reliabel, maka harus memenuhi persyaratan SESAME^[8] seperti berikut.

1. $f_0 > 10/l_w$
2. $n_c(f_0) > 200$
3. $\sigma A(f) < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2(f_0)$ jika $f_0 > 0.5$ Hz atau
4. $\sigma A(f) < 3$ untuk $0,5f_0 < f < 2(f_0)$ jika $f_0 < 0.5$ Hz

f_0 adalah frekuensi dominan, l_w adalah panjang window, dan n_c adalah *number of significant cycles*, dan σA adalah standar deviasi puncak $A_{H/V}$.



Gambar 4. Kurva spektrum HVSr pada Geopsy

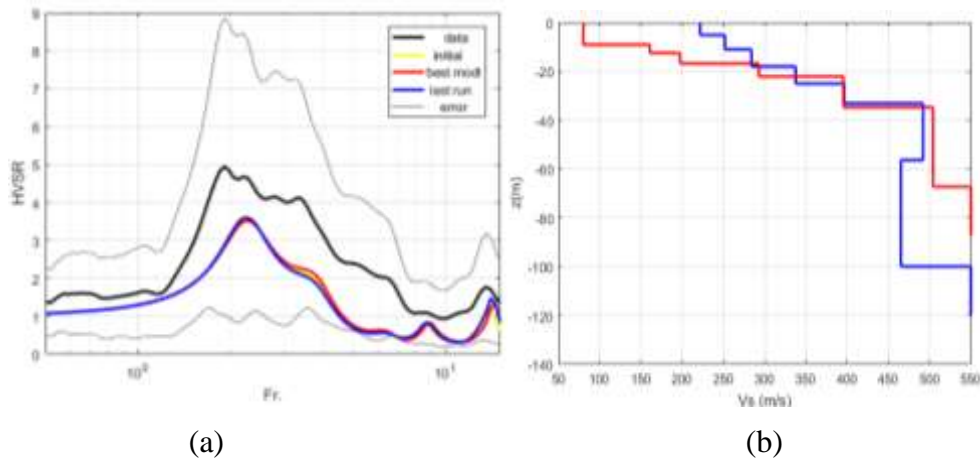
Data spektrum yang dihasilkan pada pengolahan Geopsy selanjutnya disimpan dalam bentuk format (*.hv). Data tersebut berisikan informasi nilai number of windows, frekuensi dominan, dan faktor amplifikasi, Data ini selanjutnya diolah pada perangkat lunak openHVSr untuk proses inversi.

2.2. Pengolahan inversi HVSr menggunakan OpenHVSr

Data yang telah diperoleh dari perangkat lunak Geopsy selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak OpenHVSr. OpenHVSr merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh Samuel Bignardi^[9]. Aplikasi ini merupakan pengembangan dari versi sebelumnya pada Bignardi dkk. ^[10] dan ModelHVSr yang dibuat oleh Herak^[11]. Seluruh modul dan fungsi perhitungan pada OpenHVSr menggunakan basis matlab untuk melakukan pengolahannya. Tahapan inversi ini dilakukan dengan prinsip forward modeling. Prinsip FWD digunakan untuk menghitung spektrum amplifikasi gelombang badan dan gelombang permukaan berdasarkan kurva HVSr ^[12].

OpenHVSr menerapkan metode guided Monte Carlo yang menetapkan nilai parameter awal (*initial model*) secara acak dan digunakan untuk menghitung kurva simulasi yang dibandingkan dengan kurva HVSr. Proses inversi memerlukan iterasi hingga mendapatkan hasil yang paling optimal.

Pada Gambar 5 (a) merupakan kurva perbandingan antara HVSr hasil pengukuran dan best model hasil dari inversi. Sedangkan (b) merupakan model kecepatan 1-D yang selanjutnya akan dianalisis untuk menentukan jenis karakteristik tanah dan ketebalan sedimennya. Kemudian hasil akhir penelitian ini adalah pemodelan nilai Vs30 secara 3-D. Pengukuran dan pemetaan nilai Vs30 merupakan salah satu cara untuk mengetahui kondisi seismik terkait bahaya dan risiko amplifikasi di situs tersebut ^[13]. Vs30 juga dapat digunakan untuk menentukan klasifikasi jenis tanah pada suatu situs ^[14].



Gambar 5. (a) Perbandingan kurva HVSR hasil pengukuran lapangan dengan hasil inversi HVSR dan (b) Model kecepatan gelombang geser (V_s)

Nilai kecepatan gelombang geser yang telah diperoleh melalui perhitungan inversi dijadikan parameter untuk menentukan klasifikasi jenis tanah. Selanjutnya kondisi bawah permukaan diklasifikasikan sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Jenis Tanah Menurut SNI 1726:2019

Kelas Jenis Tanah	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350-750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		

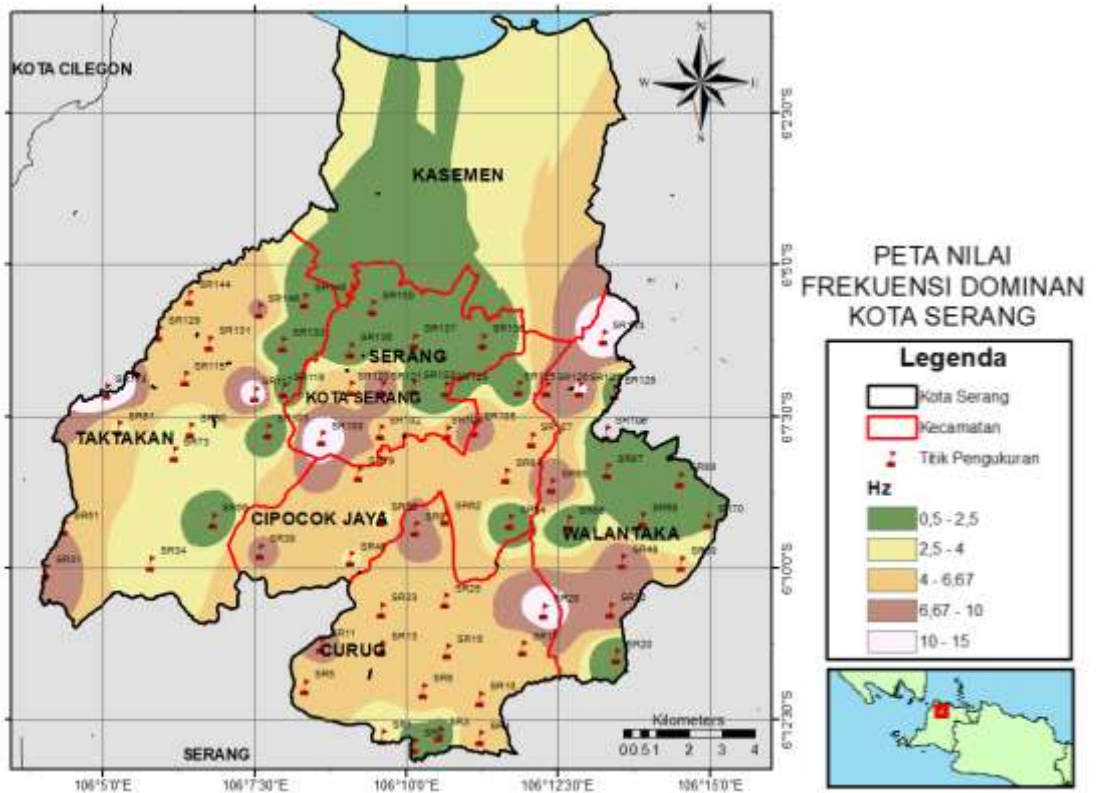
<p>SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)</p>	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah, 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m), 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$), 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa
---	---

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis kurva HVSR mikrotremor

Berdasarkan hasil pengolahan dengan perangkat lunak Geopsy, tidak seluruh data pengukuran memperoleh hasil yang baik. Beberapa memiliki kendala seperti durasi perekaman yang sangat singkat yaitu < 20 menit, tidak memenuhi uji *reliability*, dan terdapat beberapa data yang mengalami kendala pada komponen vertikal. Hasil akhir data yang lolos uji kualitas sebanyak 69 titik pengukuran yang kemudian diolah untuk mendapatkan kurva HVSR seperti pada Gambar 4.

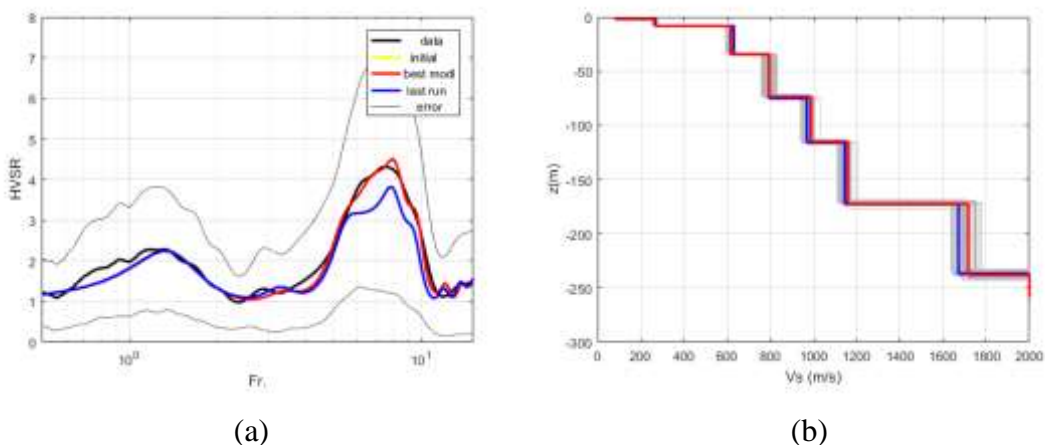
Berdasarkan hasil pengolahan HVSR, Kota Serang memiliki nilai frekuensi dominan dengan rentang nilai dari 0,5 hingga 15 Hz. Nilai tertinggi terletak pada titik pengukuran SR113 dengan nilai f_0 sebesar 14,278 Hz. Titik pengukuran SR20, SR122, dan SR123 memiliki nilai terendah dengan nilai yang sama yaitu sebesar 0,579 Hz. Secara keseluruhan, daerah penelitian ini memiliki nilai f_0 yang bervariasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 6 yang secara umum memiliki frekuensi dominan rendah pada bagian utara kota Serang. Kanai dan Tanaka^[15] menyatakan adanya hubungan antara struktur tanah bawah permukaan dengan kerusakan pada permukaan melalui rekaman mikrotremor.



Gambar 6. Peta Frekuensi Dominan Kota Serang dan sekitarnya

3.2. Analisis inversi HVSR

Proses inversi diolah menggunakan perangkat lunak OpenHVSR dengan prinsip kerja melakukan iterasi pada parameter model untuk dicocokkan dengan kurva HVSR hasil pengukuran sampai mendapatkan pemodelan yang paling optimal. Contoh hasil inversi ditunjukkan pada Gambar 7. Pada bagian (a) menunjukkan perbandingan antara kurva HVSR hasil observasi yang ditandai oleh garis berwarna hitam dan kurva hasil inversi HVSR yang ditandai garis berwarna merah. Bagian (b) menunjukkan pemodelan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yang ditandai oleh garis warna merah secara 1-D. Hasil inversi pada titik pengukuran ini menunjukkan nilai V_s pada kedalaman 1,8 m sekitar 80,95 m/s, lalu kedalaman 1,8 – 8,17 m kecepatannya meningkat yaitu 264,04 m/s, dan kedalaman 8,17 – 35,07 m kecepatannya sekitar 614,68 m/s.

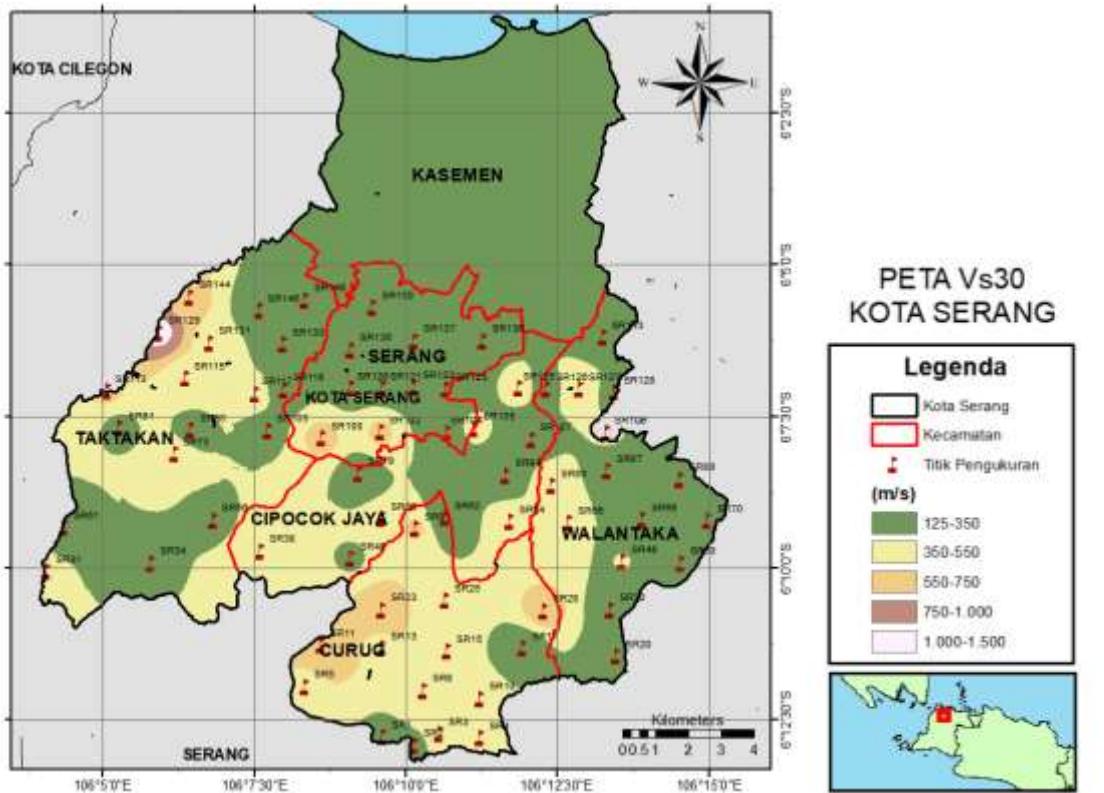


Gambar 7. (a) Perbandingan kurva pengukuran dan best model hasil inversi HVSR dan (b) Model 1-D Vs di Titik Pengukuran SR31

Pengolahan inversi HVSR dapat digunakan untuk menghasilkan model Vs30 dengan merata-ratakan nilai Vs hingga kedalaman 30 meter. Berdasarkan hasil pemodelan tersebut, Kota Serang memiliki nilai Vs30 dengan rentang nilai dari 124,97 m/s hingga 1047,24 m/s. Rentang nilai tersebut cukup luas menunjukkan bahwa Kota Serang memiliki batuan yang bervariasi dan bersifat lokal. Nilai terendah yaitu sebesar 124,97 m/s pada titik pengukuran SR68. Sedangkan nilai tertinggi berada pada titik pengukuran SR129 dengan nilai 1047,24 m/s. Secara keseluruhan, daerah penelitian didominasi oleh kecepatan Vs30 dengan rentang 125-350 m/s yang direpresentasikan oleh warna hijau pada Gambar 8.

Ditinjau dari peta di atas, distribusi nilai Vs30 pada Kota Serang memiliki nilai yang rendah pada daerah utara lalu meningkat pada bagian selatan dan barat. Nilai tertinggi terletak pada Kecamatan Taktakan, yaitu pada titik SR129 yang ditandai oleh warna putih pada peta. Lalu area yang berwarna kuning mendominasi area selatan hingga barat dengan rentang nilai 350 – 550 m/s. Terdapat beberapa titik pengukuran yang memiliki nilai Vs30 relatif tinggi dengan rentang nilai 550 – 750 m/s yang direpresentasikan oleh warna oranye. Sedangkan warna hijau dengan rentang nilai 125- 350 m/s mendominasi area utara hingga tengah dan tersebar di beberapa bagian timur dan barat Kota Serang.

Klasifikasi jenis tanah dikelompokkan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 yang dapat dilihat pada tabel 2.2. SNI menetapkan bahwa terdapat 4 jenis tanah berdasarkan nilai Vs30. Menurut hasil pemodelan Vs30, daerah penelitian ini memiliki variasi jenis tanah yang cukup seragam pada klasifikasi tanah sedang (SD) dan keras (SC) dengan beberapa lokasi yang merupakan tanah lunak (SE) yang umumnya terletak di bagian utara karena semakin rendah topografinya.

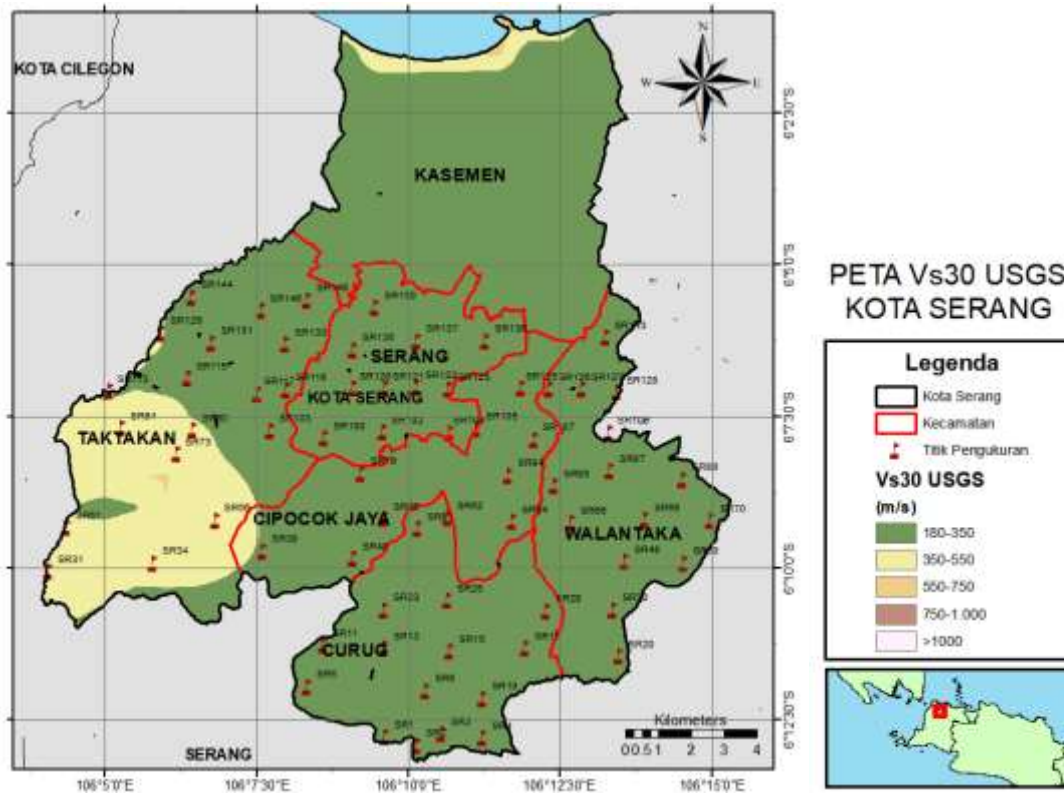


Gambar 8. Peta Vs30 Kota Serang dan sekitarnya

Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan peta Vs30 dari *United States Geological Survey* (USGS) yang disajikan pada Gambar 9. USGS menetapkan nilai Vs30 Kota Serang memiliki rentang nilai 180 - 750 m/s. Menurut USGS, nilai Vs30 cenderung rendah pada dominan seluruh wilayah Kota Serang, kecuali pada pesisir utara dan sisi barat Kecamatan Tatakakan yang bernilai 350 - 550 m/s. Dilihat lebih lanjut, pada Kecamatan Tatakakan terdapat area kecil yang memiliki nilai Vs30 cukup tinggi dengan rentang 550 - 750 m/s.

Pemodelan Vs30 pada wilayah penelitian ini berkesesuaian dengan pemodelan Vs30 berdasarkan USGS. Hasil inversi pemodelan Vs30 yang disajikan pada Gambar 8 memiliki pola nilai cenderung rendah pada area utara lalu meningkat pada wilayah selatan dan sisi barat Kota Serang. Sedangkan pemodelan Vs30 USGS yang terlihat pada Gambar 9 memiliki nilai yang rendah dari utara hingga selatan. Meskipun terdapat nilai Vs30 yang tinggi pada sisi barat dan pesisir utara dari Kota Serang.

Perbedaan signifikan terdapat pada nilai tertinggi pemodelan inversi yang mencapai nilai 1000 m/s sedangkan Vs30 menurut USGS nilai tertinggi hanya pada rentang 550-750 m/s. Hal ini disebabkan karena USGS memodelkan wilayah secara luas berdasarkan topografi sedangkan hasil pengukuran inversi menunjukkan model secara lokal.



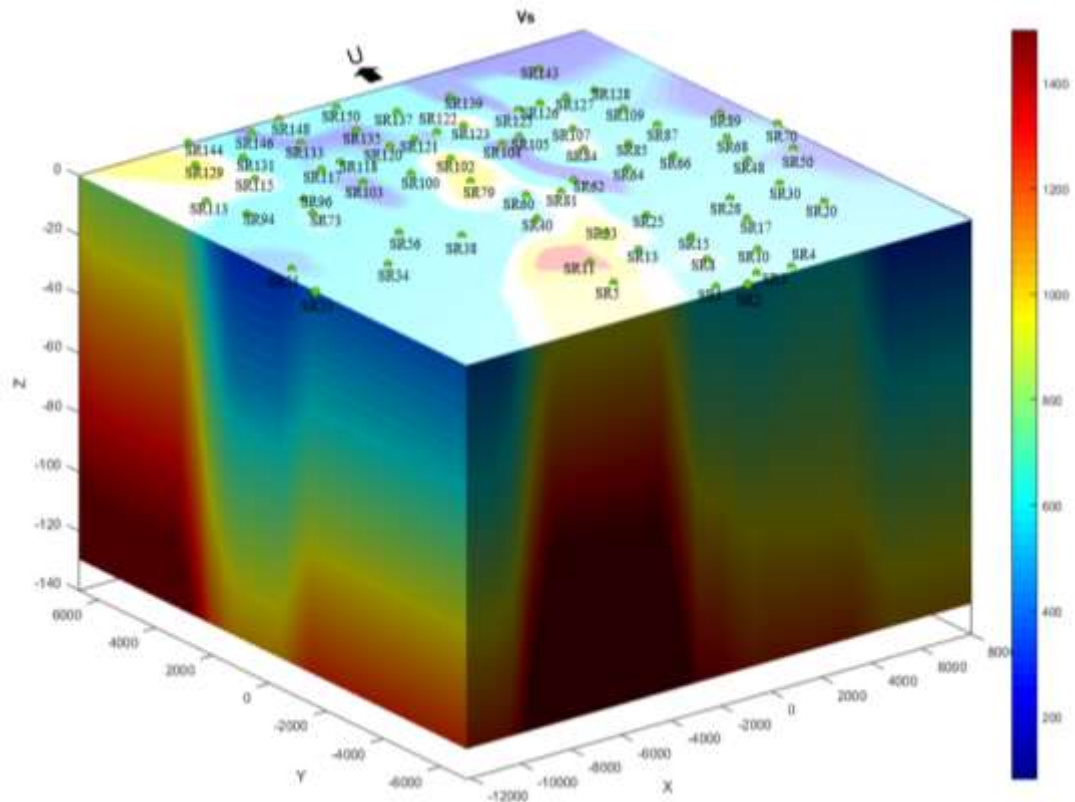
Gambar 9. Peta Vs30 USGS untuk wilayah Kota Serang dan sekitarnya

3.2. Analisis pemodelan Vs secara 3 Dimensi (3-D)

Batas antar lapisan *bedrock* dengan lapisan sedimen terlihat pada area dengan nilai Vs yang berbeda. Lapisan sedimen ditunjukkan oleh nilai Vs yang rendah dan lapisan *bedrock* ditunjukkan oleh nilai Vs yang lebih tinggi. Oleh karena itu, perbedaan nilai Vs yang signifikan mengindikasikan bahwa area tersebut merupakan batas impedansi antara lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*.

Gambar 10 merupakan hasil inversi HVSR model kecepatan gelombang geser (Vs) secara 3D. Pemodelan dilakukan dengan cara interpolasi dari hasil Vs 1-D tanpa mempertimbangkan nilai topografi dari titik pengukuran. Model yang dihasilkan tidak mencakup seluruh Kota Serang mengingat titik pengukuran inversi tidak tersebar secara merata. Terdapat kekosongan data pada area utara Kota Serang sehingga pemodelan 3D tidak dapat dilakukan pada wilayah tersebut. Wilayah yang tidak tercakup kedalam pemodelan ini adalah Kecamatan Kasemen.

Secara umum nilai Vs di Kota Serang bervariasi dimulai dari 80 m/s hingga 1500 m/s. Area yang berwarna biru hingga biru muda merupakan area yang memiliki nilai Vs rendah dengan rentang 80 - 600 m/s, hal ini mengindikasikan area tersebut adalah lapisan sedimen. Sedangkan lapisan *bedrock* direpresentasikan dengan warna hijau hingga merah dengan rentang nilai Vs pada 800 – 1500 m/s.



Gambar 10. Model 3-D kecepatan gelombang geser (V_s) di Kota Serang

Ditinjau pada Gambar 10, pemodelan V_s 3-D di Kota Serang memiliki ketebalan sedimen yang bervariasi. Lapisan dengan nilai V_s rendah mendominasi pada wilayah utara hingga sisi timur dan sebagian sisi barat dari Kota Serang dengan ketebalan yang relatif besar. Pada beberapa daerah terdapat lapisan yang memiliki nilai V_s yang relatif tinggi pada permukaan hingga kedalaman yaitu pada sisi barat laut dan selatan Kota Serang yang ditandai oleh warna kuning hingga merah.

Berdasarkan analisis nilai frekuensi dominan, V_{s30} , klasifikasi jenis tanah, dan ketebalan lapisan sedimen tanah menunjukkan bahwa Kota Serang merupakan daerah yang didominasi oleh lapisan tanah lunak. Tanah lunak dominan pada sisi utara lalu mengeras semakin ke barat dan selatan. Penelitian ini berkesesuaian dengan kondisi geologi Kota Serang bahwa sisi utara merupakan daerah yang terdiri dari formasi batuan alluvial dan formasi batuan banten atas pada sisi tengah hingga selatan. Kondisi ini didukung dengan fakta V_{s30} USGS yang memetakan daerah Kota Serang didominasi nilai V_{s30} rendah pada sisi utara hingga selatan dan meninggi pada sisi barat wilayah penelitian. Pemodelan V_s secara 3-D menunjukkan bahwa beberapa daerah memiliki ketebalan sedimen yang cukup tebal. Maka dapat diidentifikasi bahwa Kota Serang memiliki potensi kerusakan yang relatif tinggi apabila terjadi gempa bumi signifikan (gempa bumi dengan magnitudo besar atau dengan jarak yang sangat dekat).

4. SIMPULAN

Frekuensi dominan pada Kota Serang berkisar dari 0,57 hingga 14,27 Hz. Sebaran nilai frekuensi bervariasi pada seluruh wilayah penelitian. Secara keseluruhan, frekuensi dominan pada Kota Serang didominasi oleh rentang nilai 0,5 – 6,67 Hz. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa daerah penelitian memiliki lapisan sedimen yang lunak karena didominasi oleh jenis tanah IV, III, dan II dimana tanah jenis ini memiliki ketebalan sedimen yang tebal hingga menengah.

Hasil inversi HVSR menunjukkan nilai Vs30 di Kota Serang berkisar dari 124,97 – 1047,24 m/s. Berdasarkan klasifikasi jenis tanah SNI 1726:2019, jenis tanah bervariasi dari tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak (SC), dan terdapat 1 titik dengan klasifikasi jenis tanah batuan (SB). Secara keseluruhan, wilayah utara hingga tengah dan sisi timur Kota Serang tersusun oleh lapisan tanah lunak (SE). Sedangkan wilayah selatan hingga barat didominasi lapisan tanah sedang (SD) dan tanah keras dan batuan lunak (SC).

Berdasarkan hasil pemodelan nilai Vs secara 3 dimensi. Kota Serang memiliki ketebalan sedimen yang bervariasi. Lapisan sedimen paling tebal mencapai sekitar 0 – 150 m. Terdapat beberapa bagian daerah yang nilai Vs relatif tinggi pada permukaan hingga kedalaman tak hingga. Semakin keras material tanah, maka nilai Vs akan semakin besar begitu pula sebaliknya. Namun secara umum, daerah penelitian ini memiliki lapisan sedimen yang relatif tebal. Oleh sebab itu, Kota Serang dapat dikategorikan sebagai daerah yang rawan bencana gempa bumi sehingga diperlukan upaya mitigasi agar terhindar dari kerusakan akibat getaran gempa bumi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Murillo, J. M. M., (1988), The 1985 Mexico earthquake., *Natural and man-made hazards*. Proc. symposium, Rimouski, Quebec, 1986, pp 63–79.
- [2] Koesuma, S., Pratiwi, S. dan Legowo, B., (2018), *Penentuan Ketebalan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor di Kota Surakarta*, Risalah Fisika, Vol. 2, no. 1, pp 25–28.
- [3] Nakamura, Y., (1989), *Nakamura a Method for Dynamic Characteristics of Surface*, Proc. 20th JSCE Earthquake Eng. Symposium, Vol. 30, no. 1, pp 133–136.
- [4] BSN, (2019), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan dan Nongedung*.
- [5] Zuhaera, A., Suharno dan Mulyatno, B. S., 2019, *Inversi Mikrotremor Untuk Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) dan Mikrozonasi Kabupaten Bandung*, Jurnal Geofisika Eksplorasi, Vol. 5, no. 2, pp 3–14.
- [6] Sungkono dan Santosa, B. ., (2011), *Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Permodelan*, Jurnal Neutrino, Vol. 4, pp 65–85.
- [7] Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono dan Setianegara, R., (2014), *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*, Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Vol. 2, no. 1.

- [8] SESAME, (2004), *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing, and Interpretation*.
- [9] Bignardi, S., Mantovani, A. dan Abu Zeid, N., (2016), *OpenHVSR: Imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSR modeling and inversion*, Computers and Geosciences, Vol. 93, pp 103–113.
- [10] Bignardi, S., (2018), *OpenHVSR User Manual*.
- [11] Herak, M., (2008), *ModelHVSR-A Matlab® Tool to Model Horizontal-to-vertical Spectral Ratio of Ambient Noise*, Computers and Geosciences, Vol. 34, no. 11, pp 1514–1526.
- [12] Sunardi, B., Putri, E. N., Susilanto, P. dan Ngadmanto, D., (2017), Penerapan Metode Inversi HVSR Untuk Pencitraan 3-D Kecepatan Gelombang Geser (V_s) di Kulon Progo Bagian Selatan, *Jurnal Riset Geofisika*, Vol. 1, no. 2, pp 47–53.
- [13] Susilanto, P., Ngadmanto, D., Sunardi, B. dan Rohadi, S., (2019), *Analisis Kecepatan Gelombang Geser (V_s) Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempabumi di Kulonprogo, DIY*, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 10, no. 2, pp 41–50.
- [14] McPherson, A. dan Hall, L., (2013), *Site Classification for Earthquake Hazard and Risk Assessment in Australia*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, no. 2 A, pp 1085–1102.
- [15] Kanai, K. dan Tanaka, Y., (1961), *On Microtremors VIII*, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo, Vol. 39, pp 97–114.