

IDENTIFIKASI POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)* DI KAWASAN KUTA, LOMBOK

¹M. Anshor Wathoni, ¹Suhayat Minardi, ¹Marzuki

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jalan Majapahit
Nomor 62, Kota Mataram, 83115
Email : anshorwathoni98@gmail.com

ABSTRAK

Likuifaksi adalah fenomena dimana kekuatan dan kekakuan tanah berkurang dikarenakan gempa atau pergerakan tanah lainnya. Hal ini merupakan suatu proses atau kejadian berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair, yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal. Penelitian ini bertujuan mendapatkan hasil nilai dari kedalaman lapisan sedimen dan jenis lapisan sedimen berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0), ketebalan lapisan sedimen (d), indeks kerentanan seismik (K_g), v_{s30} , muka air tanah, dan mengetahui terjadi potensi likuifaksi berdasarkan ketebalan lapisan sedimen dengan *overlay* dan muka air tanah. Data penelitian yang digunakan adalah data primer dari rekaman sinyal mikrotremor di kawasan Kuta, Lombok. Pengolahan data menggunakan software Geopsy dan data mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR. Hasil pengolahan data HVSR yang didapatkan nilai frekuensi dominan sebesar 0 Hz – 12 Hz, nilai ketebalan lapisan sedimen sebesar 4,85 m – 116,08 m, nilai indeks kerentanan seismik antara sebesar $0,5 \times 10^{-6}$ s sampai 66×10^{-6} s, v_{s30} sebesar 95,712 m/s – 491,761 m/s. Berdasarkan analisis mikrotremor dan pemetaan pada map konturnya, ketebalan lapisan sedimen di *overlay* dengan peta kontur muka air tanah, potensi likuifaksi menunjukkan bahwa ketebalan lapisan sedimen semakin padat dan muka air tanah semakin rendah maka dapat terjadinya likuifaksi. Berdasarkan frekuensi dominan dan v_{s30} , pada nilai v_{s30} dengan rentang nilai 312,290 m/s – 491,761 m/s merupakan *site class* jenis IV kelas E terjadinya berpotensi likuifaksi.

Kata kunci: Mikrotremor, HVSR, Likuifaksi, v_{s30}

ABSTRACT

Liquefaction is a phenomenon where the strength and stiffness of the soil are reduced due to earthquakes or other ground movements. This is a process or event that changes the properties of the soil from a solid state to a liquid state, which is caused by cyclic loads during an earthquake so that the pore water pressure increases to approach or exceed the vertical stress. This study aims to obtain the results of the value of the depth of the sediment layer and the type of sediment layer based on the dominant frequency value (f_0), the thickness of the sediment layer (d), seismic vulnerability index (K_g), v_{s30} , the value of the groundwater table, and determine the potential for liquefaction based on the thickness of the sediment layer overlay with groundwater. The research data used is primary data from microtremor signal recorded in the Kuta area, Lombok. Data processing used Geopsy software and microtremor data were analyzed using the HVSR method. The results of HVSR data processed are frequency value of 0 Hz – 12 Hz, data thickness of the sediment value of 4.85 m – 116.08 m, data seismic vulnerability index between 0.5×10^{-6} s until 66×10^{-6} s, v_{s30} value of 95.712 m/s – 491.761 m/s. Based on microtremor analysis and mapping on the contour map, the thickness of the sediment layer is overlay with the groundwater table contour map, the potential for liquefaction indicates that the denser the thickness of the sediment layer and the lower the groundwater level, the more liquefaction can occur. Based on the dominant frequency and v_{s30} , the value of v_{s30} with a range of 312.29 m/s – 491.761 m/s is a type IV class E site with a potential for liquefaction.

Keywords: Microtremor, HVSR, Liquefaction, v_{s30}

PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah fenomena dimana kekuatan dan kekakuan tanah berkurang dikarenakan gempa atau pergerakan tanah lainnya. Hal ini merupakan suatu proses atau kejadian berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair, yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa bumi. Penyebab potensi likuifaksi itu terjadi lapisan sedimen dan butiran lepas. Syarat-syarat likuifaksi secara geologi, jenis sedimen yang lemah, ketebalan lapisan sedimen semakin besar, kecepatan gelombang geser yang tinggi, adanya bangunan yang tinggi diatas tanah, terjadinya gempa bumi di atas 5,0 SR dan tinggi muka air tanah yang dangkal.

Beberapa kejadian likuifaksi yang pernah terjadi di wilayah Lombok termasuk Kabupaten Lombok Tengah pada tahun 2018 silam. Likuifaksi terjadi pada tanah pasir lepas yang jenuh air akibat kenaikan tekanan air pori saat terjadinya gempa bumi yang menyebabkan tekanan efektif lapisan pasir tersebut akan berkurang seiring waktu. Kerentanan lapisan pasir terhadap likuifaksi akan menurun dengan bertambahnya kedalaman muka air tanah.[1]

Metode yang digunakan adalah metode HVSR dengan tujuan memperoleh kurva H/V. Metode ini merupakan metode yang membandingkan antara rasio spektrum dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya. Dari kurva H/V kemudian akan didapatkan parameter-parameter penting yang merepresentasikan kondisi geologi pada daerah tersebut. Parameter ini adalah frekuensi dominan, indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan sedimen, dan kecepatan geser. Frekuensi dominan sangat berkaitan erat dengan karakteristik lapisan sedimen dan kecepatan geser mendapatkan ketebalan lapisan sedimen. Nilai kecepatan geser didapatkan dari kaitannya lapisan sedimen dengan frekuensi dominannya. Nilai frekuensi dominan didapatkan ketebalan sedimen dan korelasinya atau pembandingan dengan tinggi muka air tanah dapat diketahui potensi likuifaksi yang akan terjadi di wilayah kawasan Kuta, Lombok. Perhitungan HVSR didefinisikan sebagai :

$$HVSR = \frac{S_H}{S_V} = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{timur-barat})^2}}{S_{vertical}} \quad (1)$$

Dengan keterangan, H adalah Komponen Horizontal, V adalah Komponen Vertikal, S_V adalah Sinyal spektrum vertikal dan S_H adalah Sinyal spektrum horizontal.[2]

Variabel yang diperoleh dari metode HVSR sebagai berikut

- **Frekuensi Dominan (f_0)**, Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai

frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan.[3]

Klasifikasi Tanah	Frekuensi dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
I	$10 < f_0 \leq 20$	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, di dominasi oleh batuan keras
IV	$4 < f_0 \leq 10$	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> dll	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
III	$2,5 < f_0 \leq 4$	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5 m, terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> dll	Ketebalan sedimen permukaan termasuk kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
II		Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi <i>delta soil, top soil</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
I	$\leq 2,5$	Dengan kedalaman 30 m atau lebih	

- **Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)**, Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi tanah saat terjadi gempa bumi.[4]

$$K_g = \frac{A^2}{f_0} \quad (2)$$

Dengan keterangan K_g adalah Indeks Kerentanan Seismik, A adalah Amplifikasi, dan f_0 adalah Frekuensi Dominan.

- **Ketebalan Lapisan Sedimen (d)**, Ketebalan sedimen merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya likuifaksi ketika gempa bumi.

$$d = \frac{v_0}{4f_0} \quad (3)$$

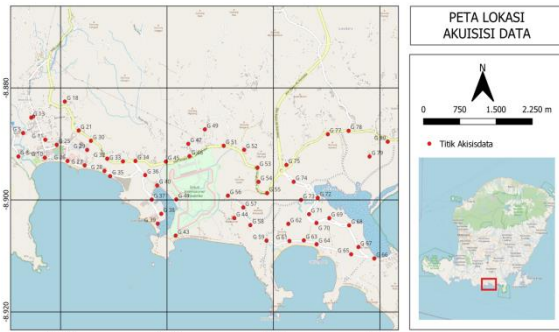
- **Kecepatan Gelombang Geser (v_{s30})**, v_{s30} merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 meter dari permukaan.

$$v_{s30} = \frac{h_{30}}{\sum \frac{h_i}{v_{si}}} \quad (4)$$

Dengan keterangan h_{30} adalah kedalaman lapisan hingga 30 meter, h_i adalah kedalaman masing-masing lapisan, v_{si} adalah kecepatan gelombang geser masing-masing lapisan.

METODOLOGI

Data penelitian yang digunakan adalah data primer dari rekaman sinyal mikrotremor. Jumlah titik pengukuran adalah 57 titik yang sebarannya seperti pada Gambar 1. Alat ukur yang digunakan adalah Seismometer Taide tipe TDV-23S, Digitizer Taide tipe TDL-303S (Gambar 2) dan setiap titik diukur/direkam selama 45 menit.



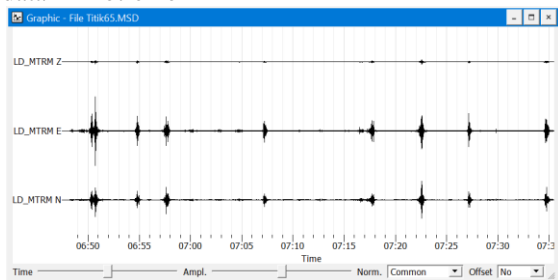
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Seismometer Taide tipe TDV-23S dan Digitizer Taide tipe TDL-303S

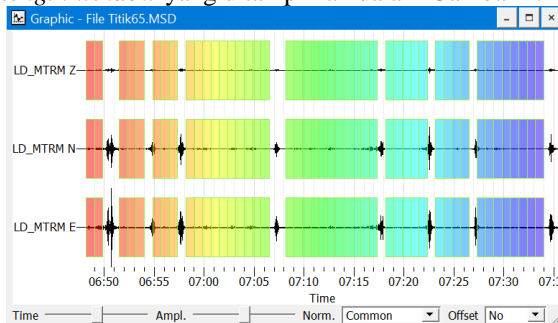
Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan *software* Geopsy (2.9.1) dan surfer 12 untuk memplot hasil pengolahan data.

Prosedur penelitian untuk pengolahan data menggunakan *software* Geopsy. Data hasil lapangan yang diperoleh meliputi komponen E-W (horizontal arah Timur-Barat), N-S (Horizontal arah Utara-Selatan) dan Z (arah vertikal), yang berdurasi selama 45 menit kemudian dikonversi dalam perangkat lunak Geopsy. Berikut Gambar 3 tampilan rekaman data mikrotremor



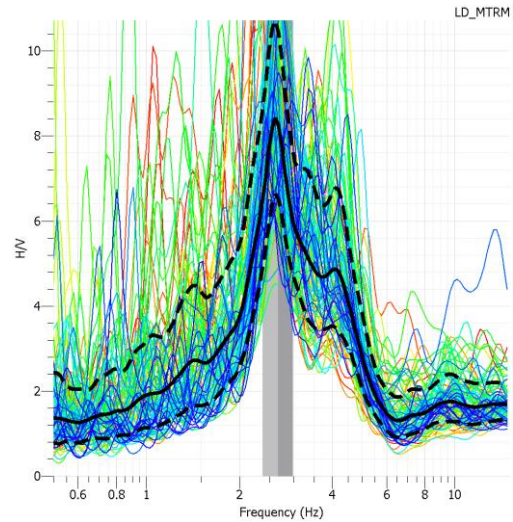
Gambar 3. Rekaman Data Mikrotremor

Data mikrotremor yang berupa sinyal domain waktu dibagi menjadi beberapa jendela, pada perangkat lunak *geopsy* dapat dilakukan proses pemilahan jendela dengan melakukan pengaturan *length window* yang ditampilkan dalam Gambar 4.



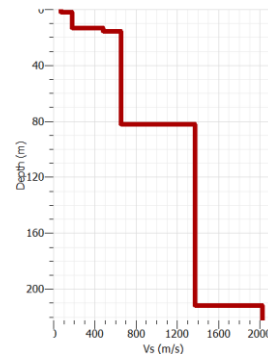
Gambar 4. Pembagian Jendela

Kemudian hasil analisis HVSR menunjukkan grafik hubungan antara rasio H/V dan frekuensi, sehingga dipilih satu nilai frekuensi yang merupakan frekuensi puncak pada situs tersebut dan nilai amplitudo rasio spektrum H/V merupakan nilai amplifikasi tanah yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Rasio Spektrum H/V

Dari kurva rasio tersebut, mendapatkan masing-masing nilai frekuensi dominan dan amplifikasi, dua parameter tersebut memperoleh hasil nilai indeks kerentanan seismik. Selanjutnya melakukan *Diinver* untuk memperoleh nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter. Gambar 6 hasil inversi yang menggunakan parameter agar terlihat jelas kedalamannya.

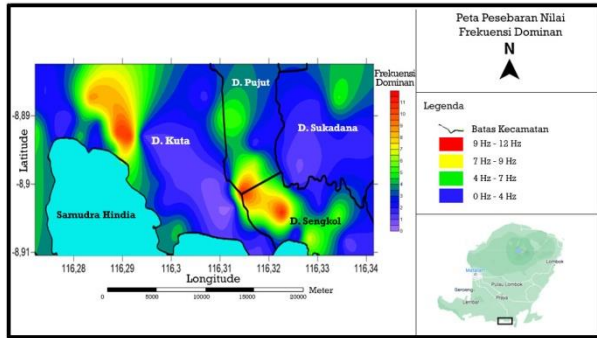


Gambar 6. Ground profile v_s

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah faktor yang menyebabkan terjadinya likuifaksi diantaranya yaitu frekuensi dominan (f_0), indeks kerentanan seismik, kecepatan geser (v_s30), ketebalan lapisan sedimen (d), dan ketebalan lapisan sedimen yang di *overlay* nilai permukaan air tanah.

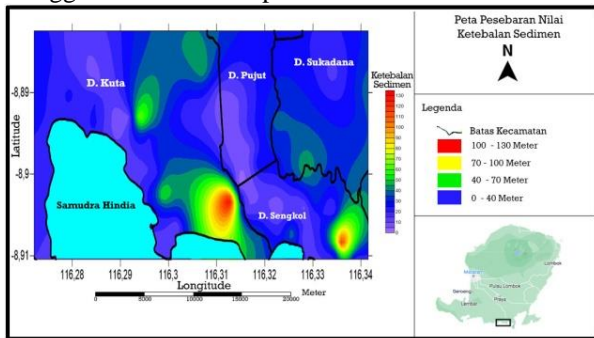
Berikut Gambar 7 hasil nilai frekuensi dominan yang telah diplot menggunakan *software* Surfer 12.



Gambar 7. Peta Pesebaran Nilai Frekuensi Dominan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh nilai frekuensi dominan (f_0) berkisar antara 0 Hz – 12 Hz. Dengan mengacu pada klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) Tabel 3.5, daerah dengan nilai (f_0) sedang hingga tinggi yaitu 4 Hz – 12 Hz yang ditunjukkan dengan skala warna hijau, kuning dan merah termasuk ke dalam jenis I, mengidentifikasi bahwa pada daerah ini memiliki densitas yang tinggi sehingga kekerasan lapisan bawah permukaan lebih keras dibandingkan dengan daerah lainnya. Sehingga pada daerah dengan nilai (f_0) tinggi menunjukkan bahwa daerah ini memiliki kerusakan yang diakibatkan ringan.

Ketebalan lapisan sedimen (d) menggunakan persamaan (3) didapatkan hasil yang diplot menggunakan surfer 12 pada Gambar 8.

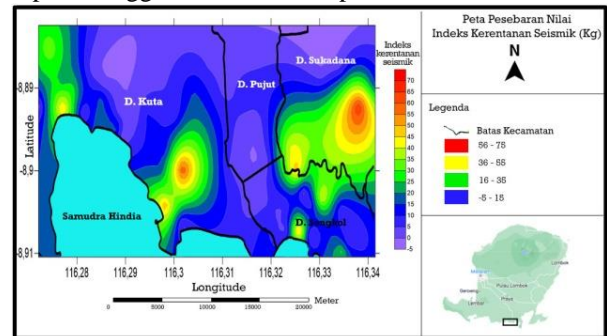


Gambar 8. Peta Pesebaran Nilai Ketebalan Lapisan Sedimen

bahwa nilai ketebalan sedimen pada daerah penelitian berada di kisaran 4,85 m – 116,08 m. Pada titik tengah menuju Timur ujung bawah dan tengah bawah yang ditunjukkan dengan skala warna merah, memiliki nilai ketebalan sedimen yang lebih tebal dibandingkan dengan daerah lainnya pada daerah penelitian. Secara geologis lokasi ini berada di wilayah dengan endapan alluvium yang berupa tanah lunak sehingga gelombang gempa bumi yang melewati wilayah ini akan mengalami penguatan gelombang gempa yang semakin besar sehingga meningkatkan risiko kerusakan akibat gempa bumi. Kemudian pada daerah atas Barat daerah penelitian, ditemukan nilai ketebalan sedimen (d) yang lebih

tipis dari daerah lainnya pada lokasi penelitian, yang ditandai dengan skala warna biru, wilayah ini berada pada endapan alluvium, yang merupakan kompleks gunung api yang mempunyai batuan sedimen tidak kompak dan mudah lepas, dalam formasi ini materialnya terdiri atas material yang memiliki densitas tinggi, sehingga gelombang gempa bumi yang melewati daerah ini akan mengalami penguatan gelombang gempa yang lebih rendah, wilayah dengan lapisan sedimen tipis ini cenderung lebih aman dengan risiko kerusakan yang lebih kecil akibat gempa bumi.

Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) menggunakan persamaan (2) didapatkan hasil yang diplot menggunakan surfer 12 pada Gambar 9.

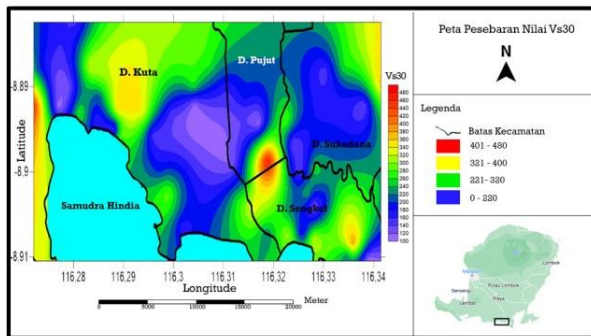


Gambar 9. Peta Pesebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik

Nilai indeks kerentanan seismik dengan rentang $0,5 \times 10^{-6}$ s sampai 66×10^{-6} s. Skala warna ungu hingga biru menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik yang rendah berkisar antara $0,5 \times 10^{-6}$ s sampai 15×10^{-6} s, pada wilayah ini nilai indeks kerentanan seismik bernilai rendah terkonsentrasi pada daerah yang berada pada dataran tinggi atau daerah perbukitan. Dimana pada daerah perbukitan memiliki kondisi struktur batuan keras, yang mengindikasikan memiliki nilai densitas yang tinggi sehingga tidak mengalami kerusakan yang cukup parah yang ditimbulkan oleh gempa bumi.

Sedangkan zona warna hijau hingga kuning menunjukkan jika nilai indeks kerentanan seismik sedang dengan rentang $16 - 55 \times 10^{-6}$ s, dan warna merah menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik tinggi dengan rentang $56 - 66 \times 10^{-6}$ s. Nilai indeks kerentanan seismik dari rentang sedang hingga tinggi pada lokasi penelitian ini terdapat pada titik pengukuran yang tersebar yang tersusun oleh endapan alluvium, dimana pada endapan alluvium ini memiliki struktur lapisan tanah yang lunak sehingga mengindikasikan memiliki nilai densitas yang rendah, dengan tingginya nilai indeks kerentanan seismik menyebabkan daerah tersebut rawan dan berpotensi mengalami tingkat kerusakan yang tinggi saat terjadi gempa bumi.

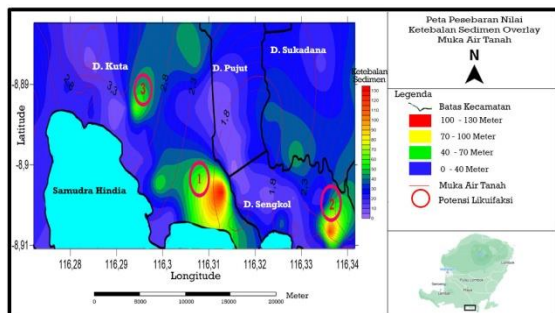
Kecepatan gelombang geser (v_{s30}) diperoleh hasil perhitungan dari nilai v_{s30} dengan rentang 95,712 m/s – 491,761 m/s, kemudian hasil perhitungan diplotting menggunakan *software* surfer dan menghasilkan Gambar 10.



Gambar 10. Peta Pesebaran Nilai v_{s30}

Skala warna ungu hingga biru menunjukkan nilai v_{s30} kecil dengan rentang 95,712 m/s – 227,631 m/s, skala warna hijau sampai kuning menunjukkan v_{s30} sedang dengan rentang 227,632 m/s – 312,289 m/s. Berdasarkan Peta kontur ini menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan daerah dengan nilai v_{s30} rendah. Berdasarkan klasifikasi *Site Class* untuk v_{s30} 312,290 m/s – 491,761 m/s dalam Tabel 3.3, rentang tersebut termasuk ke dalam kelas tanah D dan E, dimana kelas tanah D termasuk ke dalam tanah sedang dan kelas tanah E merupakan tanah lunak sehingga pada daerah ini guncangan gempa akan terasa lebih kuat, yang disebabkan karena pada tanah lunak gelombang gempa bumi akan terjebak dan menimbulkan superposisi antar gelombang.

Nilai variabel v_{s30} menunjukkan bahwa wilayah yang termasuk ke dalam *site class* jenis II kelas C memiliki karakteristik batuan alluvial dengan ketebalan 5 meter, yang mendiskripsikan tanahnya keras, sangat padat dan batuan lunak, sedangkan daerah penelitian yang termasuk ke dalam *site class* III kelas D merupakan batuan alluvial dengan ketebalan lebih dari 5 meter, yang mendiskripsikan tanahnya sedang dan ada juga yang termasuk *site class* IV kelas E merupakan batuan alluvial, mendiskripsikan tanah lunak menyebabkan kerawanan risiko terjadi gempa bumi, sehingga ketebalan lapisan sedimen yang lebih tebal terdapat pada batuan yang lebih lunak dan menyebabkan tingkat kerawanan risiko gempa bumi yang lebih besar dibandingkan dengan nilai ketebalan lapisan sedimen yang lebih tipis. Gambar 11 menunjukkan peta ketebalan lapisan sedimen yang di *overlay* nilai muka air tanah.



Gambar 11. Peta Pesebaran Nilai Ketebalan Lapisan Sedimen di *Overlay* Nilai Muka Air Tanah

Dari hasil analisis dapat diketahui bahwa sebagian dari daerah penelitian terletak pada batuan alluvium yang merupakan endapan yang lunak, sebagian lagi terdapat pada endapan yang lebih keras, pada endapan yang lunak nilai ketebalan lapisan sedimen yang didapatkan lebih tebal. Pada hasil gambar 5.5 menjelaskan terjadinya potensi likuifaksi terbesar pada daerah titik 1 sampai potensi likuifaksi terkecil pada titik 3, yang dimana ketebalan lapisan sedimen padat bertemu dengan muka air tanah yang dangkal maka potensi likuifaksi yang terjadi besar, sebaliknya ketebalan lapisan sedimen tidak padat dengan muka air tanah yang dalam kemungkinan terjadi likuifaksinya kecil. Apabila di bedakan ke dalam kelas tanah (*site class*) berdasarkan batuan penyusunnya, batuan dengan tingkat kekerasan tanah yang padat termasuk ke dalam *site class* II kelas C, batuan dengan tingkat kekerasan yang sedang termasuk ke dalam *site class* III kelas D, dan batuan dengan tingkat kekerasan yang lunak termasuk ke dalam *site class* IV kelas E sehingga dapat dilihat pada batuan yang lunak akan menyebabkan kerawanan risiko terjadi likuifaksi yang berpotensi dibandingkan dengan kondisi tanah yang memiliki batuan penyusun yang lebih keras.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan nilai frekuensi dominan 0 Hz - 12 Hz, ketebalan lapisan sedimen 4,85 m – 116,08 m, indeks kerentanan seismik dengan rentang $0,5 \times 10^{-6}$ s sampai 66×10^{-6} s dan v_{s30} sebesar 95,712 m/s – 491,761 m/s. Batuan dengan tingkat kekerasan tanah yang padat termasuk ke dalam *site class* II kelas C, batuan dengan tingkat kekerasan yang sedang termasuk ke dalam *site class* III kelas D, dan batuan dengan tingkat kekerasan yang lunak termasuk ke dalam *site class* IV kelas E sehingga dapat dilihat pada batuan yang lunak akan menyebabkan kerawanan risiko terjadi likuifaksi yang berpotensi dibandingkan dengan kondisi tanah yang memiliki batuan penyusun yang lebih keras. Dan Berdasarkan nilai ketebalan lapisan sedimen dan nilai indeks kerentanan seismik dengan nilai muka air tanah, jika ketebalan lapisan sedimen semakin padat, indeks kerentanan seismik yang semakin tinggi dan muka air tanah semakin rendah maka dapat berpotensi likuifaksi besar seperti kontur yang berwarna paling merah pada nomor 1 daerah Kuta bagian Selatan, nomor 2 daerah Sengkol bagian Timur, nomor 3 bagian daerah Kuta bagian Tengah, warna biru menunjukkan tidak adanya potensi likuifaksi.

SARAN

Penelitian ini dilakukan sampai pada tahap *diinver* di pengolahan *geopsy* selanjutnya diharapkan lebih detail uji titik reabilitas penelitiannya untuk mengetahui kedalaman cekungan yang dapat

digunakan sebagai pemodelan terlihatnya likuifaksi dan mitigasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tohwata, Ikuo. 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [2] Nakamura, Yuuichi. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. Japan: Tokyo University.
- [3] Arifin, Satria Subkhi., Bagus Sapto Mulyanto., Marjiyono., Roby Setianegara. 2013. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*, jurnal Geofisika Eksplorasi Vol 2/No.1. Universitas Lampung.
- [4] Gutenberg, B. 1958. *Caustics produced by waves through the Earth's core*. Geophysical Journal International, 1(3), 238-248