

Mikrozonasi Kerentanan Seismik Serta Korelasi Frekuensi Predominan dan Vs30 Terhadap Data *Vertical Electrical Sounding* Di Kawasan Kotabaru, Lampung Selatan

Nisrina Balqis Maharani Putri¹, Tedi Yudistira², Erlangga Ibrahim Fattah¹

¹ Institut Teknologi Sumatera

² Institut Teknologi Bandung

E-mail: nisrinabalqismaharanip@gmail.com

Abstract

Based on the Peraturan Daerah Provinsi Lampung No. 2 Tahun 2013, Kotabaru is an area that will be built as the center for regional government offices of Lampung Province. This makes Kotabaru a very vital area with various infrastructures. Therefore, it is necessary to conduct microzonation mapping as an effort to prevent infrastructure development as well as settlements in high risk areas. The results of this study indicate that the study area has a predominant frequency value of 0.649 – 1.790 Hz, an amplification factor of 2.823 – 5.978 Hz, a seismic susceptibility index of 11.518 – 43.751 s² / cm, and an average velocity of shear waves at a depth of 30 meters (v_{s30}) of 123.717 – 266.141 m/s. Based on the Eurocode 8 classification, SNI 1726: 2012 and NEHRP, it is known that the research area consists of two types of soil, namely medium soil and soft soil. Meanwhile, from VES data processing, it is known that the research area consists of three lithologies, namely tuff claystone, tuff sandstone and tuff with a resistivity of 5.93 – 593 ohm.m. The results of the correlation between the predominant frequency and v_{s30} with the VES data shows a good relationship, where the relatively low predominant frequency correspond to, the thicker sediment layer.

Keywords: Microzonation, HVSr, VES, Vs30, site classification

Abstrak

Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Lampung No. 2 Tahun 2013, Kotabaru merupakan wilayah yang akan dibangun sebagai pusat perkantoran pemerintahan daerah Provinsi Lampung. Hal itu menjadikan Kotabaru sebagai kawasan yang sangat vital dengan berbagai infrastruktur di dalamnya. Oleh karena itu perlu dilakukan pemetaan mikrozonasi sebagai upaya untuk mencegah pembangunan infrastruktur vital mau pun pemukiman pada daerah yang beresiko tinggi. Penelitian ini menggunakan dua pendekatan, yaitu metoda *horizontal to vertical ratio* (HVSr) dan *vertical electrical sounding* (VES). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki nilai rentang frekuensi dominan 0,649 – 1,790 Hz, faktor amplifikasi 2,823 – 5,978 Hz, indeks kerentanan seismik 11,518 – 43,751 s²/cm, dan kecepatan rata-rata gelombang geser sampai pada kedalaman 30 meter (v_{s30}) adalah 123,717 – 266,141 m/s. Berdasarkan klasifikasi Eurocode 8, SNI 1726:2012 dan NEHRP diketahui bahwa wilayah penelitian terdiri dari dua jenis tanah yaitu tanah sedang dan tanah lunak. Sedangkan dari pengolahan data VES diketahui bahwa wilayah penelitian terdiri dari tiga litologi, yaitu lempung tufaan, pasir tufaan dan tufa dengan resistivitas 5,93 – 593 ohm.m. Hasil korelasi antara frekuensi dominan dan v_{s30} terhadap data VES menunjukkan hubungan yang baik, dimana semakin rendah frekuensi dominan maka lapisan sedimennya semakin tebal.

Kata Kunci : Mikrozonasi, HVSr, VES, Vs30, klasifikasi *site*

PENDAHULUAN

Lampung merupakan sebuah provinsi yang terletak di ujung Selatan pulau Sumatera dan tidak

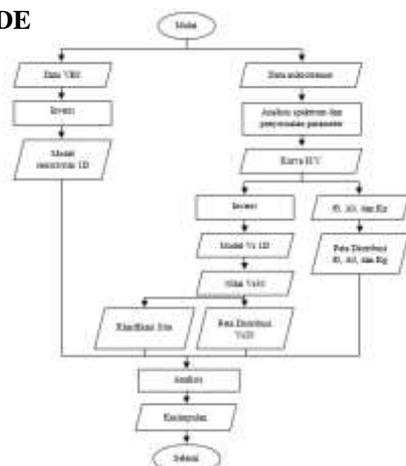
bisa terlepas dari aktifitas kegempaan. Selain karena keberadaan zona subduksi lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia, provinsi Lampung juga dilalui jalur bukit barisan dan sesar Sumatera yaitu segmen Kumering, segmen Semangko dan segmen Sunda.

Pada tahun 2013 pemerintah provinsi Lampung memulai pembangunan kawasan Kotabaru sebagai solusi untuk mengurangi kepadatan di pusat kota. Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Lampung No. 2 Tahun 2013 tentang pembangunan Kotabaru Lampung, Kotabaru merupakan wilayah yang akan dibangun sebagai pusat perkantoran pemerintahan daerah Provinsi Lampung termasuk instansi vertikal, wilayah pengembangan pendidikan, termasuk kawasan permukiman, pusat perekonomian dan usaha/perdagangan serta fasilitas pelayanan publik lainnya yang terletak di Kecamatan Jati Agung Kabupaten Lampung Selatan. Sebagai calon pusat kantor pemerintahan daerah Provinsi Lampung, Kotabaru akan menjadi kawasan yang sangat vital dengan berbagai infrastruktur di dalamnya. Namun dengan keberadaan zona Subduksi dan zona Sesar Sumatera menjadikan kawasan Kotabaru tidak bisa terlepas dari bahaya gempa yang suatu waktu dapat terjadi.

Berdasarkan peta geologi, wilayah penelitian termasuk ke dalam formasi Lampung, lembar Tanjung Karang, yang terdiri dari tuff berbatuapung, tuff riolitik, tuff padu tuffit, batu lempung tuffan dan batu pasir tuffan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi mikrozonasi sebagai upaya mitigasi dalam pembangunan pemukiman serta sarana vital di kawasan Kotabaru. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data mikrotremor dengan analisis metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) dimana kurva HVSR yang diperoleh kemudian dilakukan inversi untuk memperoleh struktur kecepatan seismik. Selain itu penelitian ini juga menggunakan data VES (*Vertical Electrical Sounding*) yang berfungsi untuk validasi dan korelasi terhadap pengolahan data mikrotremor. Dari parameter tersebut dilakukan klasifikasi jenis tanah berdasarkan SNI 1726:2012, Eurocode 8 dan NEHRP.

METODE



Gambar 1. Diagram alir penelitian

A. Lokasi Penelitian

Pengukuran mikrotremor dilakukan di 10 titik dengan pasi antar titik 681 – 2.685 meter, sedangkan pengukuran *Vertical Electrical Sounding* (VES) dilakukan di 8 titik dengan spasi 1.000 meter dan panjang AB/2 125 meter. Kedua titik pengukuran tersebar di wilayah Kota Baru, Lampung Selatan dan Sindang Anom, Lampung Timur.



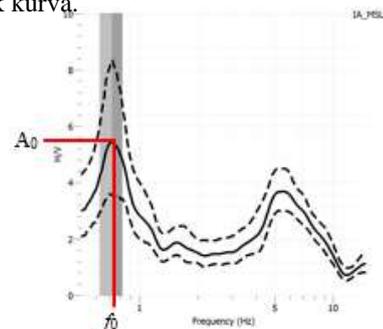
Gambar 2. Titik pengukuran mikrotremor dan VES

B. HVSR

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) adalah metode yang memperlihatkan hubungan antara struktur bawah permukaan tanah dengan perbandingan rasio spektrum Fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya [1]. Pengolahan data mikrotremor menggunakan program Geopsy untuk mendapatkan kurva H/V. Untuk mendapatkan kurva terbaik dilakukan penyesuaian parameter filter frekuensi dan STA/LTA. Filter yang digunakan adalah *bandpass filter* dengan frekuensi 0,5 – 9 Hz, sedangkan parameter STA/LTA yang digunakan adalah 0,5/60. Setelah itu dilakukan analisis spektrum dengan lebar *windows* 30 detik.

C. Penentuan Frekuensi Predominan (f_0), Faktor Amplifikasi (A_0) dan Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Kurva H/V digunakan untuk mengidentifikasi nilai frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) dimana nilainya ditunjukkan pada puncak kurva.



Gambar 3. Kurva H/V titik T14N

Hubungan frekuensi dominan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser dinyatakan dalam persamaan (1).

$$f_0 = \frac{v_s}{4H} \quad (1)$$

Dimana v_s dinyatakan dalam satuan m/s, dan ketebalan sedimen dalam meter.

Sementara nilai indeks kerentanan seismik (Kg) ditentukan menggunakan persamaan (2).

$$Kg = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2)$$

D. Inversi VES

Data resistivitas yang didapatkan dari pengukuran lapangan merupakan nilai resistivitas semu dimana merupakan campuran lapisan batuan yang ada di bawah permukaan tanah, sehingga perlu dilakukan proses inversi untuk mengetahui nilai resistivitas sebenarnya dari masing-masing jenis lapisan tanah.

Inversi dilakukan menggunakan program IPI2WIN dimana prinsip pengolahannya adalah inversi linier kuadrat terkecil dengan modifikasi model awal secara iteratif hingga diperoleh model yang responnya cocok dengan data hasil pengamatan. Modifikasi model didasarkan informasi mengenai sensitivitas parameter observasi (data) terhadap perubahan model. Setelah mendapatkan respon yang cocok maka akan dihasilkan besar nilai resistivitas sebenarnya beserta jumlah lapisan batuan.

Selanjutnya interpretasi litologi mengacu pada tabel Telford (1990), lembar geologi, serta penelitian sebelumnya oleh Rizka dan Satiawan, S. (2019).

E. Inversi Mikrotremor

Inversi mikrotremor dilakukan dengan software berbasis Matlab yaitu Open_HVSR yang dikembangkan oleh Samuel Bignardi. Dalam proses inversi tersebut dibutuhkan dua data diantaranya kurva H/V dan data *subsurface* pada setiap titik pengukurannya. Pada kurva H/V parameter yang digunakan adalah nilai frekuensi dan amplitudo rata-rata dari titik penelitian. Sedangkan data *subsurface* terdiri dari enam parameter yaitu v_p , v_s , ρ , H, Q_p , dan Q_s . Parameter tersebut digunakan untuk menentukan parameter model atau model awal untuk proses inversi kurva HVSR.

- Parameter Model

Untuk mendapatkan parameter tersebut digunakan nilai kecepatan gelombang geser (v_s)

yang didapat dari situs USGS yaitu <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30>.

Nilai v_s selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai v_p dimana rasio v_p/v_s diasumsikan 1,73. Sedangkan nilai ρ didapatkan dari penelitian sebelumnya, H dibuat sama setiap lapisannya dengan asumsi 30 meter pertama memiliki litologi yang sama.

Selanjutnya data subsurface digunakan sebagai parameter atau acuan dalam proses inversi menggunakan Open_HVSR. Sedangkan data kurva H/V digunakan sebagai data observasi dalam mencari model terbaik dalam proses inversi.

Tabel 1. Nilai Vs30 USGS

Nama Titik	Vs30 (m/s)
T1N	222,401
T2N	234,907
T3N	263,154
T7N	246,555
T8N	257,157
T9N	245,416
T11N	260,329
T12N	273,053
T13N	258,806
T14N	263,322

Tabel 2. Data subsurface titik T9N dengan nilai Vs30 USGS

Vp	Vs	ρ	H	Qp	Qs	Depth
384,75 3	245,41 6	2, 2	10	15	5	10
384,75 3	245,41 6	2, 2	10	30	10	20
384,75 3	245,41 6	2, 2	10	60	20	30
4000	1500	2, 2	99 9	99 9	99 9	999

- Inversi Kurva HVSR

Inversi kurva H/V dilakukan dengan Open_HVSR dimana cara kerjanya adalah mencari model terbaik dan meminimalkan fungsi misfit terhadap ruang modelnya. Open_HVSR menghasilkan model struktur bawah permukaan dari kurva HVSR dengan menggunakan metode propagasi Monte Carlo. Selama proses inversi parameter v_p , v_s , H, Q_p , dan Q_s dibiarkan bebas untuk mendapatkan model terbaik namun diikat dengan parameter ρ sebagai pengontrol. Menurut Sungkono [21], variasi nilai Q_p tidak mempengaruhi kurva H/V, sedangkan nilai Q_s berpengaruh terhadap puncak kurva H/V namun tidak berpengaruh pada nilai frekuensinya.

Pada penelitian ini digunakan metode distribusi probabilitas Uniform.

F. Penentuan Vs30

Setelah melakukan proses inversi, didapatkan parameter hasil seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Dari parameter tersebut dilakukan perhitungan v_s30 . Secara umum nilai v_s30 dapat dihitung dengan persamaan (3).

	Vp	Vs	Rho	H	Cp	Qs	Depth
1	240.89	80.30	2.20	6.07	15.00	5.00	-6.07
2	894.75	298.25	2.20	85.27	30.00	10.00	-91.34
3	1875.93	625.31	2.20	46.88	60.00	20.00	-138.22
4	2595.00	1500.00	2.20	999.00	999.00	999.00	inf

Gambar 4. Contoh parameter hasil inversi pada Open_HVSR

$$Vs30 = \frac{30}{\frac{h_1}{v_1} + \frac{h_2}{v_2} + \frac{h_3}{v_3} + \text{dst hingga mencapai kedalaman 30 meter}} \quad (3)$$

Selanjutnya nilai Vs30 dapat dihitung :

$$Vs30 = \frac{30}{\frac{6,07}{80,30} + \frac{23,93}{298,25}} \quad (4)$$

Sehingga nilai Vs30 diperoleh :

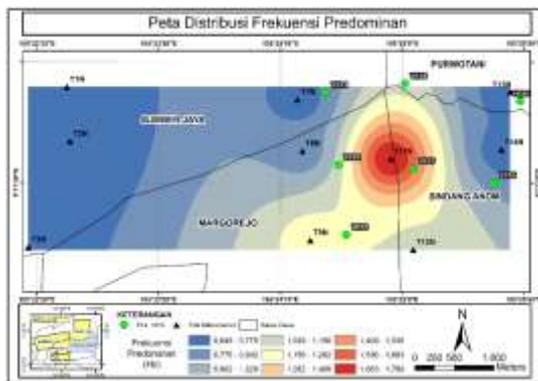
$$Vs30 = 192,522 \text{ m/s} \quad (5)$$

Sementara itu ketebalan sedimen berkaitan dengan nilai frekuensi dominan dan kecepatan gelombang geser seperti dinyatakan dalam persamaan (1). Maka untuk menentukan ketebalan sedimen dapat dinyatakan dalam persamaan (6).

$$H = \frac{v_s}{4f_0} \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Frekuensi Predominan (f_0)



Gambar 5. Distribusi frekuensi dominan di wilayah Kota Baru

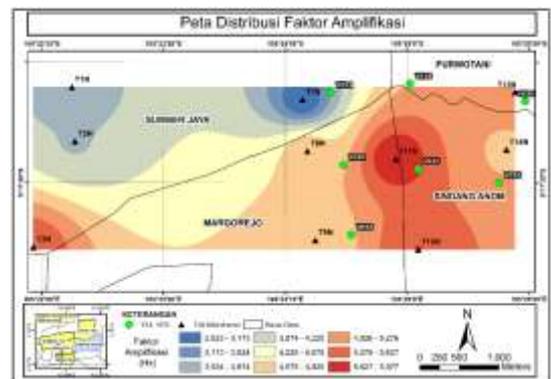
Frekuensi dominan pada wilayah penelitian berada pada rentang 0,649 – 1,789 Hz dengan nilai frekuensi tertinggi terletak di sekitar titik T11N atau bagian tengah desa Sumberjaya. Sedangkan nilai frekuensi rendah secara umum terletak pada sisi

Barat dan Timur wilayah penelitian. Seluruh titik penelitian termasuk ke dalam Formasi Lampung dimana tersusun atas tuff berbatuapung, tuff riolitik, tuff padu tuffit, batu lempung tuffan dan batu pasir tuffan.

Berdasarkan klasifikasi Kanai seluruh wilayah penelitian termasuk ke dalam jenis IV dimana ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal. Area tersebut merupakan endapan Alluvium yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil dan lumpur dengan kedalaman 30 meter atau lebih.

B. Faktor Amplifikasi (A_0)

Faktor amplifikasi pada wilayah penelitian berada pada rentang 2,823 – 5,977 Hz dengan nilai tertinggi terletak di sekitar titik T11N atau secara umum tersebar di bagian Selatan dan Timur wilayah penelitian. Berdasarkan klasifikasi Setiawan (2019) wilayah penelitian termasuk ke dalam Zona 1 dan Zona 2 atau zona dengan klasifikasi rendah ($A < 3$) dan sedang ($3 \leq A < 6$).



Gambar 6. Distribusi faktor amplifikasi di wilayah Kota Baru

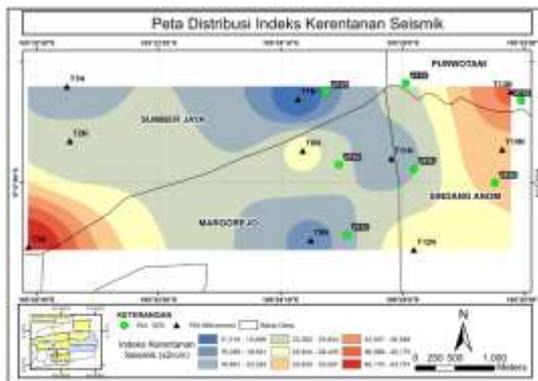
Nilai faktor amplifikasi tinggi menunjukkan adanya perubahan impedansi yang kontras antar peralipan. Hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan nilai v_s atau densitas yang disebabkan oleh perubahan kekompakan batuan dan menjadikan area dengan nilai faktor amplifikasi tinggi menjadi lebih rentan terhadap guncangan gempa bumi. Fenomena ini menunjukkan bahwa amplifikasi memiliki hubungan dengan tingkat kekompakan batuan dimana semakin rendah kekompakannya maka semakin meningkat faktor amplifikasinya, karena gelombang menjaral lebih lambat dan menghasilkan amplitudo lebih besar ketika melewati medium dengan kekompakan batuanya rendah. Hal ini lah yang menyebabkan tingkat resiko bencana gempa bumi semakin membesar.

Sementara itu faktor amplifikasi dengan nilai yang relatif lebih rendah atau teridentifikasi sebagai

zona rendah $A < 3$ terletak pada bagian Utara wilayah penelitian dengan nilai terendah berada di sekitar titik T7N yaitu 2,823 Hz. Rendahnya nilai faktor amplifikasi dapat disebabkan karena keberadaan batuan yang lebih kompak atau perubahan impedansi yang tidak terlalu kontras sehingga gelombang yang menjalar pada lapisan akan lebih cepat dan menghasilkan amplitudo lebih kecil.

C. Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik menunjukkan tingkat kemudahan suatu wilayah dalam mengalami deformasi lapisan tanah permukaan saat terjadi gempa bumi. Dari pengolahan data didapatkan hasil seperti **Gambar 7**. Pada wilayah penelitian didapati indeks kerentanan seismik berkisar antara 11,518 – 43,751 s^2/cm . Wilayah penelitian didominasi dengan indeks kerentanan seismik rendah hingga sedang, dengan nilai indeks kerentanan seismik sedang berada pada Timur dan Barat Daya daerah penelitian. Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik rendah berada pada Utara hingga Selatan wilayah penelitian dengan nilai terendah berada di sekitar titik T7N.

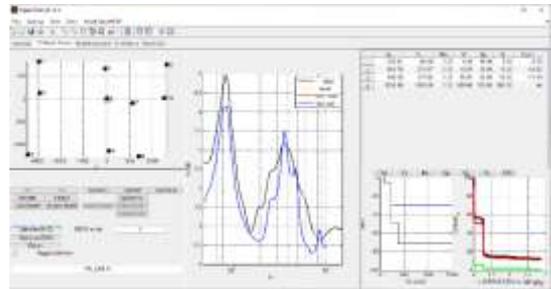


Gambar 7. Distribusi faktor amplifikasi di wilayah Kota Baru

Besar kecilnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai frekuensi dominan, amplifikasi dan juga kondisi batuan pada daerah tersebut. Pada penelitian ini nilai indeks kerentanan seismik tinggi ditemukan pada area dengan nilai amplifikasi tinggi dan nilai frekuensi dominan rendah. Nilai faktor amplifikasi tinggi berkaitan dengan kontras impedansi tinggi, sedangkan nilai frekuensi dominan rendah berkaitan dengan lapisan sedimen yang tebal. Sehingga area penelitian yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi dapat disebabkan karena adanya kontras densitas lapisan lunak dan lapisan keras di bawahnya. Selain itu ketebalan lapisan sedimen juga dapat berpengaruh terhadap nilai indeks kerentanan seismik pada penelitian ini.

D. Inversi Kurva H/V

Pada program Open_HVSR dilakukan inversi dengan rentang frekuensi 0,5 – 10 Hz. Setiap titik penelitian diatur untuk memiliki jumlah lapisan yang sama dengan rho sebagai parameter kontrol.



Gambar 8. Proses inversi pada Open_HVSR

Proses optimalisasi P/S dilakukan sebanyak yang diinginkan sampai model mendekati data pengamatan dan menghasilkan *misfit* minimum. Pada penelitian ini iterasi dilakukan untuk mendapatkan *misfit* terendah untuk mendapatkan hasil terbaik. Setelah mendapatkan *misfit* minimum dilakukan perhitungan v_{s30} menggunakan persamaan (3). Hasil perhitungan dituliskan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai V_{s30} hasil inversi USGS

Nama Titik	V_{s30} (m/s)
T1N	194,664
T2N	222,537
T3N	122,717
T7N	266,141
T8N	168,344
T9N	160,772
T11N	164,547
T12N	164,169
T13N	125,030
T14N	213,294

E. V_{s30} dan Klasifikasi Site

Pada penelitian ini nilai kecepatan gelombang geser yang digunakan adalah nilai v_{s30} yang diambil dari *database* USGS hasil inversi. Mikrozonasi v_{s30} dilakukan untuk pengklasifikasian jenis tanah berdasarkan Eurocode 8, SNI 1726:2012 dan NEHRP. Hasil pengklasifikasian jenis tanah/*site* pada wilayah Kotabaru ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Klasifikasi *site* berdasarkan Eurocode 8, SNI 1726:2012 dan NEHRP

Titik	V_{s30} (m/s)	Eurocode 8	SNI 1726:2012	NEHRP
			12	P

T1N	194.66 4	C	SD (Tanah Sedang)	D
T2N	222.53 7	C	SD (Tanah Sedang)	D
T3N	122.71 7	D	SE (Tanah Lunak)	E
T7N	266.14 1	C	SD (Tanah Sedang)	D
T8N	168.34 4	D	SE (Tanah Lunak)	E
T9N	160.77 2	D	SE (Tanah Lunak)	E
T11 N	164.54 7	D	SE (Tanah Lunak)	E
T12 N	164.16 9	D	SE (Tanah Lunak)	E
T13 N	125.03 0	D	SE (Tanah Lunak)	E
T14 N	213.29 4	C	SD (Tanah Sedang)	D

D dideskripsikan sebagai tanah sedang dengan nilai $175 < V_s \leq 350$, sedangkan *site* E bernilai $V_s < 175$.

Berdasarkan pengklasifikasian yang mengacu pada NEHRP, didapati wilayah penelitian memiliki dua tipe tanah yaitu *stiff soil profile* dan *soft soil profile*. Dimana *stiff soil profile* bernilai $183 < V_s \leq 366$ dan *soft soil profile* $V_s < 183$.

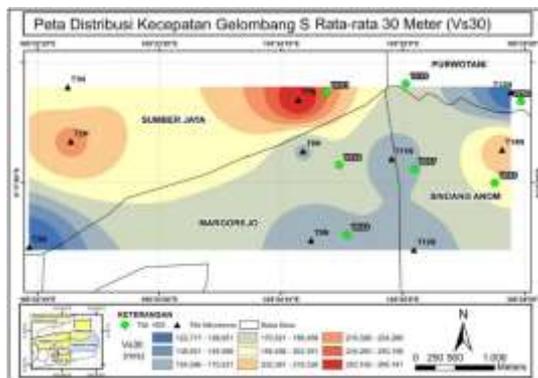
Nilai v_{s30} yang tidak jauh berbeda pada penelitian ini disebabkan karena seluruh titik penelitian berada pada satu formasi geologi yang sama yaitu Formasi Lampung (QTI).

F. Vertical Electrical Sounding (VES)

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa pada wilayah penelitian terdapat tiga jenis litologi yaitu lempung tuffaan, pasir tuffaan, dan tuff, dengan rentang resistivitas 5,93 – 593 ohm.m. Untuk melihat pola persebaran data, nilai resistivitas semu ditunjukkan pada peta iso-resistivitas. **Gambar 10** menunjukkan pola penyebaran nilai resistivitas semu pada AB/2 2 hingga 125 meter. Peta iso-resistivitas merupakan peta kontur yang menghubungkan nilai resistivitas yang sama. Pada wilayah penelitian didapati nilai resistivitas semunya adalah 10 – 560 ohm.m.

Tabel 5. Interpretasi nilai resistivitas VES batuan di wilayah penelitian [2][6]

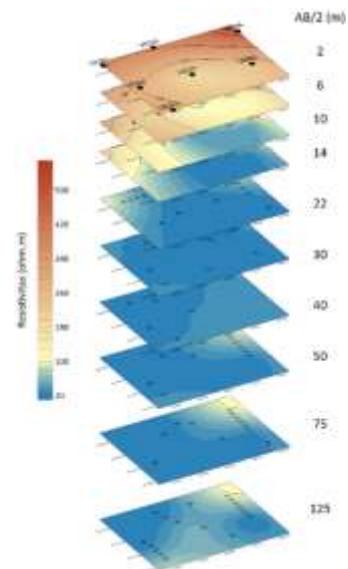
Litologi	Harga Resistivitas (Ω m)
Lempung Tuffaan (<i>tuffaceous claystone</i>)	< 20
Pasir Tuffaan (<i>tuffaceous sandstones</i>)	20 – 100
Tuff	> 100



Gambar 9. Distribusi Vs30 di wilayah Kota Baru

Berdasarkan pengklasifikasian yang mengacu pada Eurocode 8, didapati wilayah penelitian memiliki dua tipe tanah yaitu tipe tanah C dan D. Tipe tanah C merupakan endapan sand padat atau setengah padat yang tebal, gravel atau clay padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter, sedangkan tipe tanah D merupakan endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah.

Berdasarkan pengklasifikasian yang mengacu pada SNI 1726:2012, didapati wilayah penelitian memiliki dua jenis tanah yaitu *site* D dan *site* E. *Site*



Gambar 10. Peta iso-resistivitas hingga AB/2 125 meter

Dari **Gambar 10** diketahui jika lapisan *top soil* berada pada kedalaman hingga 14 meter. *Top soil* ditandai dengan transisi warna kuning – merah dengan nilai resistivitas ≥ 100 ohm.m. Pada kedalaman 6 meter lapisan sedimen mulai ditemukan pada titik VES 7 dan semakin terdistribusi hingga kedalaman 14 meter. Pada kedalaman 22 meter area penelitian didominasi oleh batuan dengan resistivitas ≥ 20 ohm.m yang diidentifikasi sebagai litologi pasir tuffaan. Batuan dengan resistivitas ≤ 20 ohm.m semakin terdistribusi pada kedalaman 30 meter dan mendominasi area penelitian, batuan tersebut diidentifikasi sebagai litologi lempung tuffaan. Pada kedalaman 40 meter litologi lempung tuffaan mengalami perubahan persebaran, dimana hanya ditemukan pada titik VES 1, VES 2 dan VES 8. Pada kedalaman tersebut terdapat litologi pasir tuffaan yang menempati separuh area penelitian dan semakin terdistribusi dengan baik pada kedalaman 50 – 125 meter. Pada kedalaman 50 – 125 meter litologi lempung tuffaan semakin sedikit dan mulai ditemukan litologi batuan dengan resistivitas tinggi ≥ 100 ohm.m yang diidentifikasi dengan tuff. Pada kedalaman tersebut litologi tuff hanya ditemukan pada titik VES 6.

G. Hubungan Mikrotremor dengan Vertical Electrical Sounding (VES)

- Korelasi Ketebalan Sedimen Mikrotremor dan Vertical Electrical Sounding

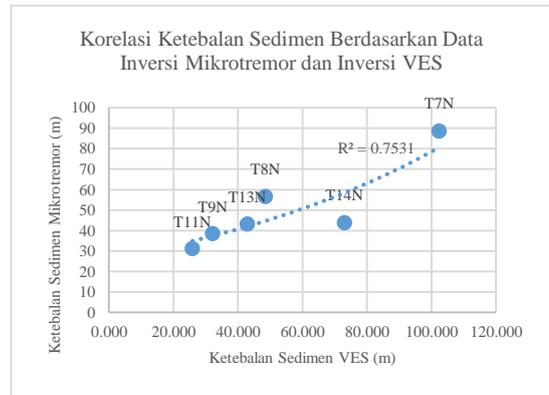
Tabel 6. Perbandingan ketebalan sedimen di area penelitian

Inversi Mikrotremor		Inversi VES	
Titik	<i>h</i> (m)	Titik	<i>h</i> (m)
T1	74,986	-	-
T2	85,46	-	-
T3	43,703	-	-
T7	96,149	VES1	88,7
T8	50,162	VES2	56,7
T9	33,026	VES3	38,5
T11	22,981	VES7	31,2
T12	36,16	-	-
T13	44,718	VES6	43,3
T14	74,06	VES5	43,9

Dari **Gambar 11** diketahui bahwa kedua data ketebalan sedimen memiliki nilai $R^2 = 0,7531$. Hal tersebut menandakan bahwa kedua data ketebalan sedimen memiliki hubungan yang baik, dimana nilainya saling mendekati.

Pada titik T14N, hasil inversi mikrotremor menunjukkan bahwa ketebalan sedimen di titik tersebut adalah 74,06 meter, sedangkan pada

pengolahan data inversi VES didapatkan bahwa ketebalan sedimennya adalah 43 meter dengan litologi lapisan terbawahnya merupakan lempung tuffaan. Perbedaan ketebalan sedimen ini dapat disebabkan karena pengukuran VES tidak mencapai lapisan batuan keras sehingga pengolahan inversi VES hanya mencapai 43 meter.



Gambar 11. Grafik korelasi ketebalan sedimen berdasarkan data mikrotremor dan VES

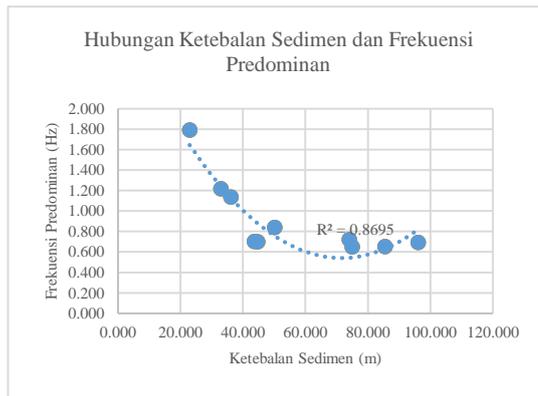
- Korelasi Frekuensi Predominan dengan Ketebalan Sedimen Vertical Electrical Sounding

Tabel 7. Frekuensi dominan dan ketebalan sedimen di area penelitian

Inversi Mikrotremor		Inversi VES	
Titik	f_0 (Hz)	Titik	<i>h</i> (m)
T1	74,986	-	-
T2	85,46	-	-
T3	43,703	-	-
T7	96,149	VES1	88,7
T8	50,162	VES2	56,7
T9	33,026	VES3	38,5
T11	22,981	VES7	31,2
T12	36,16	-	-
T13	44,718	VES6	43,3
T14	74,06	VES5	43,9

Nilai frekuensi dominan berhubungan dengan nilai kecepatan gelombang geser v_s dan ketebalan sedimen *h* seperti dalam persamaan (6). Tingkat kekerasan sedimen berpengaruh terhadap kecepatan gelombang geser, dengan demikian frekuensi dominan dapat mencerminkan kondisi fisik tanah. Nilai frekuensi dominan yang tinggi menggambarkan bahwa lapisan sedimen pada daerah tersebut tipis, sedangkan nilai frekuensi dominan rendah mengindikasikan lapisan sedimen atau tanah lunak pada daerah tersebut tebal. Grafik hubungan antara ketebalan sedimen

dengan nilai frekuensi dominan digambarkan pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Hubungan antara ketebalan sedimen dan frekuensi dominan di wilayah Kotabaru

Pada penelitian ini didapatkan bahwa frekuensi dominan memiliki keterkaitan dengan ketebalan sedimen, dimana ketika nilai frekuensi dominan rendah menunjukkan ketebalan sedimen yang tebal dan begitu pula sebaliknya. Hasil korelasi menunjukkan bahwa kedua data saling memiliki keterkaitan, dimana nilai $R^2 = 0,8695$ yang berarti frekuensi dominan dan ketebalan sedimen memiliki hubungan yang baik.

- Korelasi V_s30 dengan Litologi *Vertical Electrical Sounding*

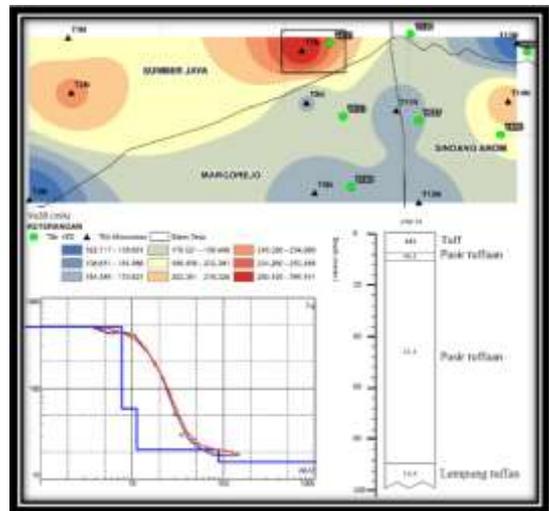
Menurut Sunardi [3], semakin lunak batuan maka nilai kecepatan gelombang geser (v_s) akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan nilai v_s berbanding lurus dengan densitas (kerapatan) batuan. Hal tersebut dapat dilihat pada titik T7N, T13N, dan T14N.

Tabel 8. Perbandingan V_s30 (berdasarkan model V_s hasil inversi data HVSr) dengan litologi VES

Inversi Mikrotremor		Inversi VES	
Titik	v_{s30} (m/s)	Titik	Litologi
T1	74,986	-	-
T2	85,46	-	-
T3	43,703	-	-
T7	96,149	VES1	Tuff, pasir tuffaan, pasir tuffaan, lempung tuffaan
T8	50,162	VES2	Tuff, pasir tuffaan, lempung tuffaan
T9	33,026	VES3	Tuff, pasir tuffaan, lempung tuffaan
T11	22,981	VES7	Tuff, lempung tuffaan, lempung tuffaan

T12	36,16	-	-
T13	44,718	VES6	Tuff, lempung tuffaan, pasir tuffaan
T14	74,06	VES5	Tuff, lempung tuffaan, pasir tuffaan, lempung tuffaan

Pada titik T7N didapatkan bahwa nilai v_{s30} adalah 283,219 m/s, dimana nilai tersebut merupakan nilai tertinggi pada penelitian ini. Jika dilihat dari litologinya, titik tersebut terdiri dari batuan tuff, pasir tuffaan dan lempung tuffaan dimana ketebalan lapisan tuff yang mencapai 81 meter menyebabkan gelombang menjalar lebih cepat. Hubungan antara nilai v_{s30} pada titik T7N dengan litologi VES digambarkan pada **Gambar 13**.

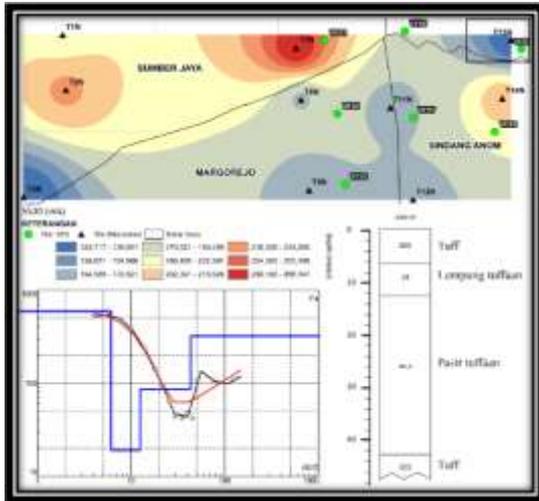


Gambar 13. Korelasi V_s30 titik T7N dengan data resistivity log VES 1

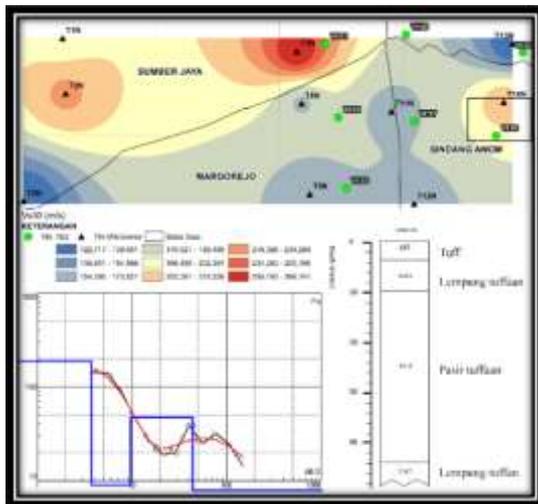
Pada titik T13N dan T14N diketahui memiliki susunan litologi yang sama dengan ketebalan lapisan yang berbeda. Litologi pada titik tersebut yaitu tuff, lempung tuffaan dan pasir tuffaan. Kedua titik memiliki nilai v_{s30} yang berbeda, dimana pada titik T13N nilai v_{s30} nya adalah 119,828 m/s sedangkan nilai v_{s30} pada titik T14N adalah 210,120 m/s. Hubungan antara nilai v_{s30} pada titik 13 dengan litologi VES digambarkan pada **Gambar 14**.

Pada titik T13N diketahui ketebalan lapisan lempungnya adalah 6,41 meter dan lapisan pasir tuffannya adalah 17,5 meter, sedangkan pada titik T14N diketahui ketebalan lapisan lempungnya adalah 5,98 meter dan lapisan pasir tuffannya adalah 20,29 meter. Perbedaan ketebalan kedua lapisan lempung itu lah yang menyebabkan dua titik tersebut menghasilkan nilai v_{s30} yang berbeda. Titik dengan lapisan

lempung yang lebih tipis menghasilkan nilai v_s30 yang lebih tinggi karena gelombang merambat lebih cepat, sedangkan pada titik dengan lapisan lempung yang lebih tebal menghasilkan nilai v_s30 yang lebih rendah karena gelombang merambat lebih lambat. Hubungan antara nilai v_s30 pada titik T14N dengan data VES digambarkan pada **Gambar 15**.



Gambar 14. Korelasi Vs30 titik T13N dengan data resistivity log VES 6



Gambar 15. Korelasi Vs30 titik T14N dengan data resistivity log VES 5

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai frekuensi dominan pada wilayah penelitian adalah 0,649 – 1,789 Hz, faktor amplifikasinya adalah 2,823 – 5,977 Hz, dan indeks kerentanan seismiknya adalah 11,518–43,751 s²/cm.
2. Berdasarkan inversi mikrotremor, ketebalan sedimen pada wilayah penelitian adalah 22,981 –

96,149 meter. Pada data VES didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda dimana ketebalan sedimennya adalah 25,830 – 102,319 meter. Sementara itu nilai v_s30 pada wilayah penelitian adalah 123,717 – 266,141 m/s.

3. Ketebalan sedimen yang dihasilkan dari inversi mikrotremor memiliki korelasi yang baik dengan ketebalan sedimen yang dihasilkan dari inversi VES, dimana nilai R2 adalah 0,7531.
4. Frekuensi dominan memiliki korelasi yang baik dengan ketebalan sedimen yang dihasilkan dari inversi VES, dengan nilai R2 0,8695. Semakin rendah nilai frekuensi dominan maka semakin tebal lapisan sedimennya.
5. Nilai v_s30 berkorelasi dengan litologi VES, dimana lapisan lempung tuffaan mengakibatkan gelombang menjalar lebih lambat dan lapisan pasir tuffaan mengakibatkan gelombang menjalar lebih cepat. Dari analisis juga diketahui bahwa ketebalan sedimen mempengaruhi nilai v_s30 .
6. Berdasarkan peta distribusi indeks kerentanan seismik (Kg) diketahui bahwa titik T1N, T2N, T7N, T8N, T9N dan T11N merupakan area yang memiliki kerentanan relatif rendah, sehingga dapat menjadi area yang cocok untuk pembangunan infrastruktur pemerintahan dan pemukiman dengan tetap memperhatikan standar bangunan tahan gempa.

DAFTAR PUSTAKA

JURNAL

- [1] Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R., “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, 2013.
- [2] Athanasius, C., and Solikhin, A., “Pendugaan Kecepatan Gelombang Permukaan (VS30) di Pulau Sulawesi Berdasarkan Klasifikasi Geomorfologi dan Aplikasinya”. Bandung : PVMBG, 2015.
- [3] Mufida, A., Santosa, B. J., & Warnana, D. D., “Inversi Mikrotremor Spektrum H/V untuk Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Lapisan Bawah Permukaan dan Mikrozonasi Wilayah Surabaya” in Teknik POMITS, pp. 1-8. 2013.

- [4] Nakamura, Y., "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface". Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst., 30(1), pp. 25-33. 1989.
- [5] Nandi, et al., "Earthquake Disaster Mitigation Mapping By Modeling of Land Layer And Site Effect Zone In The Kota Baru of South Lampung" in Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi 08 (1) (2019), pp. 53-67. 2019.
- [6] Rizka dan Satiawan, S., "Investigasi Lapisan Akuifer Berdasarkan Data Vertical Electrical Sounding (VES) dan Data Electrical Logging; Studi Kasus Kampus ITERA" in Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY, Volume 17 Nomor 2, Agustus 2019, pp. 91 – 100. 2019.
- [7] Sunardi, et al., "Vs30 Mapping and Soil Classification in The Southern Part of Kulon Progo Using Rayleigh Wave Ellipticity Inversion" in Journal of Geospatial Information Science and Engineering Vol. 1 No. 2. Jakarta, 2018.
- [8] Sungkono, & Santosa, B., "Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Spectral Ratio : Kajian literatur dan Pemodelan" in Neutrino, Vol 4. No.1. 2011.

SUMBER ONLINE

- [14] USGS, "Vs30 map". United States : U.S Geological Survey, 2020.

BUKU

- [9] Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., Applied Geophysics 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Pres, 1990.

MANUAL

- [10] OpenHVSr User Manual (Ver. 2.0). Bignardi, S. 2016.

STANDAR

- [11] Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta : BSN, 2012.

TESIS

- [12] Setiawan J.R., "Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya" Tesis, Institut Teknologi Bandung, 2009.

LAPORAN

- [13] SESAME, "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations". European Commission – Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026, 2004.

Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan menurut Kanai [1]

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Predominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
IV	I	6,67 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>).	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	II	4 – 6,67	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras berpasir (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>) dan sebagainya.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter
III	III	2,5 – 4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>).	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
II	IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur dll, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal

Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi [12]

Zona	Klasifikasi	Nilai faktor amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat tinggi	$A \geq 9$

Klasifikasi Tanah berdasarkan nilai Vs30 menurut Eurocode 8 [3]

Tipe Tanah	Uraian Gambar Stratigrafi	Nilai Vs30
A	Batuan atau formasi batuan lainnya	> 800
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman	360 - 800
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter	180 - 360
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah	< 180
E	Lapisan tanah terdiri dari aluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 m, di bawah tanah ini berupa material keras dengan Vs > 800 m/s.	
S1	Endapan terdiri dari atau mengandung ketebalan lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanuan dengan indeks plastisitas dan kadar air yang tinggi.	< 100 (Indikasi)
S2	Endapan tanah <i>likuifiable</i> , dari <i>clay</i> yang sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1.	

Klasifikasi Situs berdasarkan Nilai Vs30 menurut SNI 1726:2012 [11]

Kelas Situs	Vs (m/detik)	N	Su (kPa)
SA (Batuan Keras)	$Vs > 1500$	N/A	N/A
SB (Batuan)	$750 < Vs \leq 1500$	N/A	N/A

SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	$350 < V_s \leq 750$	$N > 50$	$S_u \geq 100$
SD (Tanah sedang)	$175 < V_s \leq 350$	$15 \leq N \leq 50$	$50 \leq S_u \leq 100$
SE (Tanah lunak)	$V_s < 175$	$15 < N$	$S_u < 50$
SF (Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs)	<p>Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $> 40\%$, dan 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3m$) • Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$) <p>Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35m$</p>		

Klasifikasi Tanah berdasarkan nilai Vs30 menurut NEHRP [2]

Site Class	Soil Profil Name	Average Properties in Top 100 feet (as per 2000 IBC section 1615.1.5) Soil Shear Wave Velocity, VS	
		Feet/Second	Meters/Second
A	Hard Rock	$V_s > 5000$	$V_s > 1524$
B	Rock	$2500 < V_s \leq 5000$	$762 < V_s \leq 1524$
C	Very Dense Soil and Soft Rock	$1200 < V_s \leq 2500$	$366 < V_s \leq 762$
D	Stiff Soil Profile	$600 < V_s \leq 1200$	$183 < V_s \leq 366$
E	Soft Soil Profile	$V_s < 600$	$V_s < 183$