

SEMINAR BIDANG KAJIAN (SBK)

PROPOSAL DISERTASI

**STUDI KORELASI EMPIRIS UNTUK MENENTUKAN KLASIFIKASI LAPISAN
BAWAH PERMUKAAN TANAH DENGAN METODE *REFRACTION*
MIKROTREMOR PADA PENYELIDIKAN TANAH DI LAPANGAN**

**EMPIRICAL CORRELATION STUDY TO DETERMINE THE CLASSIFICATION
OF SUBSURFACE SOIL WITH THE MIKROTREMOR REFRACTION METHOD
IN FIELD SOIL INVESTIGATION**



**OLEH
TATI NOVIATI
24B
99218026**

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS GUNADARMA
DEPOK
2021**

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).

Mikrotremor sebagai bentuk guncangan atau getaran yang terjadi di daerah yang memiliki potensi usikan seperti rumah yang berada ditepi jalan industri misalnya. Usikan atau guncangan ini terjadi ketika ada bus atau truk melintasi depan suatu bangunan rumah tersebut. Selain itu mikrotremor juga dapat terjadi akibat terjadinya getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara berkala karena terjadinya gerakan dibawah permukaan tanah. Kemudian ada juga yang disebut dengan gempa bumi, dianggap sebagai suatu getaran yang mampu mengguncangkan bumi tanpa terpengaruh oleh hambatan yang ada di permukaan tanah. Penyebab dari terjadinya gempa bumi tersebut adalah pergeseran lempeng bumi, ada juga pergeseran yang terlihat dari atas permukaan bumi (kerusakan) yang arahnya vertikal maupun horizontal.

Salah satu penyebab kerusakan bangunan akibat pergeseran sesar yaitu gempa. Hal inilah yang melatar belakangi perencanaan struktur bangunan tahan gempa terus dikembangkan hingga saat ini. Proses perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangat dipengaruhi oleh lokasi serta kondisi batuan. Sebagaimana diketahui bahwa getaran yang disebabkan oleh gempa cenderung membesar pada batuan lunak dibandingkan pada batuan keras atau padat. Proses penentuan klasifikasi jenis batuan tersebut berdasarkan atas data batuan pada kedalaman hingga 30 m. Menurut Wangsadinata (2006), bahwa hanya lapisan-lapisan batuan sampai kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa. Nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30}) ini digunakan sebagai penentuan parameter geoteknik dalam pembangunan infrastruktur.

Untuk mengetahui jenis batuan bawah permukaan dapat ditentukan dengan menggunakan metode geofisika. Metode geofisika yang dapat mendeteksi kecepatan penjalaran gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) adalah Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi), metode ini merekam penjalaran gelombang geser yang terjadi di bawah permukaan dengan menggunakan sensor data dari sumber medan alami. Selain itu juga pengoperasional lapangan lebih efektif dan wilayah cakupan surveinya juga luas sehingga pengukuran dapat dilakukan dalam waktu yang singkat dengan hasil yang baik (Louie, 2001).

Gelombang geser merupakan gelombang bodi yang lebih lambat atau S-wave. Hal ini terjadi karena arah gerakan partikel tegak lurus terhadap arah rambatan gelombang (*wave propagation*). Setiap unit luasan pada gelombang sekunder mengalami tegangan geser. Gelombang geser mendeformasi batuan dengan mengubah bentuk. Gelombang ini hanya dapat merambat pada padatan saja. Kecepatan perambatan gelombang geser lebih rendah dari pada gelombang longitudinal atau gelombang primer, dan ketika terjadi gempa, gelombang ini akan tercatat setelah gelombang primer, sehingga gelombang geser dinamakan gelombang sekunder (Susilawati, 2008). V_{s30} merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 m dari permukaan. Menurut Roser dan Gosar (2010) nilai V_{s30} ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai V_{s30} digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. V_{s30} merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan tanah hingga kedalaman 30 meter.

Dalam rekayasa geoteknik, empirisisme memiliki peran besar. Selain memberikan perkiraan awal, korelasi juga dapat digunakan untuk membandingkan nilai yang ditentukan dari pengujian laboratorium dan penyelidikan lapangan. Ada begitu banyak persamaan empiris dan grafik yang tersedia dalam literatur, yang secara teratur digunakan dalam desain di seluruh dunia. Ini berasal berdasarkan data laboratorium atau lapangan, pengalaman masa lalu, dan penilaian yang baik (Ameratunga et al., 2016). Data Geoteknik, baik dari lapangan atau laboratorium, bisa sangat mahal. Kita sering memiliki akses ke data lapangan yang sangat terbatas (misalnya SPT) dari beberapa lubang bor, bersama dengan beberapa data tes laboratorium pada sampel yang diperoleh dari lubang bor dan/atau lubang percobaan. Penggunaan korelasi empiris merupakan salah satu upaya untuk memaksimalkan hasil

pengujian dari laboratorium dan ketersediaan data penyelidikan lapangan yang terbatas (Ameratunga et al., 2016)

1.2. Permasalahan

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain. Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi). Untuk mengetahui jenis batuan bawah permukaan dapat ditentukan dengan menggunakan metode geofisika. Metode geofisika yang dapat mendeteksi kecepatan penjalaran gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) adalah metode Refraksi Mikrotremor (ReMi), metode ini merekam penjalaran gelombang geser yang terjadi di bawah permukaan dengan menggunakan sensor data dari sumber medan alami. Dari data yang dihasilkan refraksi mikrotremor akan ditentukan korelasi empiris antar nilai yang dihasilkan untuk menentukan klasifikasi lapisan bawah tanah yang ditinjau

1.3. Tujuan Penelitian

Mengetahui korelasi empiris untuk menentukan klasifikasi lapisan bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode *refraction mikrotremor* pada penyelidikan tanah di lapangan

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini diuraikan referensi penting yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

2.1 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Mikrotremor sebagai bentuk guncangan atau getaran yang terjadi di daerah

yang memiliki potensi usikan seperti rumah yang berada ditepi jalan industri misalnya. Usikan atau guncangan ini terjadi ketika ada bus atau truk melintasi depan suatu bangunan rumah tersebut. Selain itu mikrotremor juga dapat terjadi akibat terjadinya getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara berkala karena terjadinya gerakan dibawah permukaan tanah. Kemudian ada juga yang disebut dengan gempa bumi, dianggap sebagai suatu getaran yang mampu mengguncangkan bumi tanpa terpengaruh oleh hambatan yang ada di permukaan tanah. Penyebab dari terjadinya gempa bumi tersebut adalah pergeseran lempeng bumi, ada juga pergeseran yang terlihat dari atas permukaan bumi (kerusakan) yang arahnya vertikal maupun horizontal.

Gempa bumi merupakan getaran yang menembus bumi dapat kita umpamakan cahaya-cahaya rontgen yang dapat menembus badan manusia. Sentakan gempa bumi yang datanganya dari tempat-tempat dalam bumi merambat ke berbagai-bagai jurusan bumi. Kulit bumi ini terdiri dari blok-blok batuan yang bentuknya tak tentu. Blok-blok batuan ini terdiri dari massa yang sangat besar ukurannya sampai beratus ribu mil. Benda-benda yang seakan-akan kompak ini satu sama lain dipisahkan oleh celah-celah dan retak-retak, ialah belah-belahan dalam batuan bumi yang padat itu. Dalam bidang celah inilah kadang-kadang terjadi pergeseran- pergeseran yang dapat mengakibatkan gempa bumi yang hebat.

Gempa bumi merupakan fenomena alam berupa gelombang dengan kekuatan yang kecil maupun besar dan dapat menyebabkan kerusakan infastruktur baik besar maupun kecil. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari gempa bumi yaitu melakukan analisa tingkat bahaya seismik. Kegiatan analisa tingkat bahaya seismik ini merupakan salah satu mitigasi bencana gempa. Pelaksanaan pada mitigasi bencana tersebut yaitu dengan melakukan pengukuran menggunakan metode mikrotremor yang dapat menghasilkan respon dan tingkah laku lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempa bumi. Gempa bumi sangat berpengaruh terhadap sifat elastisitas batuan. Elastisitas merupakan suatu ukuran kekakuan material, sehingga semakin tinggi nilai elastisitas batuan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila kita memberi gaya. Salah satu cara untuk mengetahui elastisitas batuan permukaan adalah melalui analisis kecepatan gelombang geser (*shear wave*) (Susilawati, 2008). Selain untuk mengetahui elastisitas batuan, analisis kecepatan gelombang geser juga dapat digunakan untuk menentukan struktur perlapisan batuan bawah permukaan melalui aplikasi metode seismik refraksi mikrotremor

2.2 Refraksi Mikrotremor

Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) merupakan metode yang dapat merekam penjalaran gelombang geser di bawah permukaan dengan sensor data yang berasal dari sumber medan alami. Penggunaan metode refraksi mikrotremor pengoperasional di lapangan lebih efektif dan wilayah cakupan surveinya juga luas sehingga pengukuran dapat dilakukan dalam waktu yang singkat dengan hasil yang baik. . Mikrotremor dapat dikatakan sebagai getaran harmonik alami di bawah permukaan tanah yang terjadi secara terus menerus sehingga terjebak pada lapisan sedimen dan terpantulkan akibat adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap yang dikarenakan oleh getaran mikro dan kegiatan alam lainnya di bawah permukaan tanah. Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).

Adapun parameter yang dapat diukur dengan metode ini yaitu frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0) dan indeks kerentanan tanah (K_g). Metode HVSR merupakan getaran gelombang geser (gelombang SH) yang terperangkap pada medium sedimen atau medium yang berada di atas bedrock. Metode seismik refraksi mikrotremor adalah metode penelitian dengan menggunakan gelombang seismik yang memiliki amplitudo rendah dari tanah yang ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan manusia yang dapat menggambarkan kondisi geologi dekat permukaan. Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi (Rochmah, 2014). Penelitian pada karakteristik dinamis yang mencakup kecepatan seismik pada kedalaman 30 meter (V_{s30}), ketebalan lapisan sedimen dan periode dominan melalui aplikasi metode seismik refraksi mikrotremor. Metode ini mampu memberikan gambaran lapisan bawah permukaan menggunakan variasi yang kecepatan rambat gelombang.

2.3 Frekuensi Dominan

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. Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan *soil*. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi. Nilai periode dominan

merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu. Frekuensi natural, merepresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi natural dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen bawah permukaan. Frekuensi natural berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (ketebalan bedrock) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Selanjutnya, dengan menghubungkan kerusakan bangunan akibat getaran gempabumi dengan kedua parameter tersebut, dapat diketahui bahwa daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran gempa terjadi pada daerah dengan geologi lapisan sedimen tebal dan atau lapisan permukaan berupa soft sedimen, contohnya: pasir, pasir lanauan, gambut. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Daryono dkk. (2009) yang menunjukkan bahwa, bangunan yang dibangun di daerah sedimentasi yang berasal dari lahar merapi dan sungai, tingkat kerusakannya lebih besar dari pada bangunan yang dibangun diperbukitan.

2.4 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi (ukuran hambatan listrik pada sumber arus listrik bolak-balik) lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya. Marjiyono (2010) menyatakan bahwa, amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Parameter amplifikasi HVSR, penggunaannya masih diperdebatkan. Ini disebabkan oleh dua hal. Pertama, nilai amplifikasi HVSR mikrotremor berbeda dengan amplifikasi HVSR seismogram (SESAME, 2004). Kedua, amplifikasi HVSR data mikrotremor dipengaruhi oleh sumber getaran (SESAME, 2004;

Herak, 2008). Menurut Dal Moro (2010), perbedaan nilai amplifikasi mikrotremor dan seismogram, kemungkinan disebabkan oleh metode filtering, sifat statistik smoothing, dan rata-rata pada HVSR yang tidak robust. Oleh karena itu, Herak et. al. (2009) dalam mikrozonasi bahaya kerusakan bangunan, tidak menggunakan amplifikasi HVSR mikrotremor secara langsung, tetapi menggunakan amplifikasi HVSR yang telah terkoreksi dengan besarnya sumber gempa disekitar wilayah yang di estimasi mikrozonasinya. Sedangkan Nakamura et al. (2000), hanya menggunakan amplifikasi HVSR mikrotremor yang datanya stasioner, sedangkan data mikrotremor yang transien amplifikasinya tidak digunakan, walaupun frekuensinya digunakan. Amplifikasi kurva HVSR dipengaruhi oleh VS, densitas, V_p , dan Q_s . Tepatnya, berbanding lurus dengan kontras impedansi (V_s *densitas) antara sedimen dan *bedrock*, berbanding lurus dengan V_p dan Q_s . Dengan demikian, dapat diketahui bahwa daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran gempa ialah, daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, pasir lanauan) dengan bedrock yang keras. Karena pada geologi yang seperti ini, kontras (perbedaan antara lapisan sedimen dan bedrock) impedansinya besar.

Data amplifikasi dan frekuensi natural hasil HVSR, tidak berkorelasi. Dengan demikian, mikrozonasi dengan mempertimbangkan keduanya agak rumit. Untuk itu, diperkenalkan parameter lain, dalam hal ini indeks kerentanan tanah. Menurut Nakamura, 1998; Huang dan Tseng, 2002) bahwa Indeks kerentanan tanah (K_g) mengidentifikasi likuifaksi akibat gempa bumi. Dengan A_m dan f ialah amplifikasi dan frekuensi HVSR. Indeks kerentanan telah diaplikasikan oleh Daryono dkk. (2009), Nakamura et al. (2000) dan Huang dan Tseng (2002) yang menunjukkan bahwa kerusakan bangunan berbanding lurus dengan tingkat kerusakan bangunan. Dengan demikian, untuk melakukan zonasi tingkat kerusakan bangunan akibat gempa bumi, dapat dilakukan dengan pengukuran dan analisa mikrotremor. Namun, kendala terjadi jika pengukuran data mikrotremor terpengaruh noise, sehingga data mikrotremor berupa data transient dan amplifikasi HVSR data mikrotremor tidak valid. Efeknya zonasi dengan metode 3 tidak dapat dilakukan. Sedangkan frekuensi naturalnya seringkali tetap valid (SESAME, 2004). Pada kondisi seperti ini, mikrozonasi dengan parameter hasil HVSR, dapat dilakukan dengan menggunakan clustering berbasis fuzzy imputasi.

2.5 Mikrozonasi

Mikrozonasi mikrotremor adalah suatu proses pembagian area berdasarkan parameter tertentu memiliki karakteristik yang dipertimbangkan antara lain adalah getaran tanah, faktor penguatan (amplifikasi) dan periode dominan. Secara umum, mikrozonasi mikrotremor dapat dikatakan sebagai proses untuk memperkirakan respon dan tingkah laku dari lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempa bumi.

2.6 Penggunaan Seismograph Sebagai Alat Analisis Mikrotremor

Penggunaan Seismograph sebagai alat analisa Mikrotremor. Digital Seismograph Short Period berfungsi sebagai alat perekam sinyal seismik dalam kecepatan 3 komponen. Aplikasi peralatan ini untuk merekam data pengukuran mikrotremor dalam mendukung penelitian di bidang mitigasi gempa bumi. Ketika gelombang elastis melewati media padat dan pada permukaannya. Gelombang seismik melewati bumi menyebabkan gerak harmonik tanah yang dapat diukur dan dicatat dengan instrumen yang tepat ditempatkan pada atau tepat di bawah permukaan. Instrumen tersebut disebut dengan seismograf. Untuk mengantisipasi mikrotremor maupun gempa bumi pada suatu daerah berpotensi rawan mikrotremor maka kita dapat mengetahuinya dengan menganalisa menggunakan seismograf. Yang pada mulanya hanya ada seismograf sederhana yang masih menggunakan pendulum. Namun, sekarang ada suatu alat yang mampu mendeteksi potensi mikrotremor dan gempa bumi tersebut dengan sistem digital.

2.7 Metode HVSR

Metode HVSR merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Mikrotremor terdiri dari ragam dasar gelombang *Rayleigh*, diduga bahwa periode puncak perbandingan H/V mikrotremor memberikan dasar dari periode gelombang S. Perbandingan H/V pada mikrotremor adalah perbandingan kedua komponen yang secara teoritis menghasilkan suatu nilai. Periode dominan suatu lokasi secara dasar dapat diperkirakan dari periode puncak perbandingan H/V mikrotremor. Pada tahun 1989, Nakamura mencoba memisahkan efek sumber gelombang dengan efek geologi dengan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal pada titik ukur yang sama. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras, nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal mendekati nilai 1. Sedangkan pada stasiun yang berada pada batuan lunak, rasio nilai maksimumnya mengalami perbesaran (amplifikasi),

yaitu lebih besar dari 1. Berdasarkan kondisi tersebut maka, Nakamura merumuskan sebuah fungsi transfer *HVSR* (*horizontal to vertical spectrum ratio*) mikrotremor, dimana efek penguatan gelombang pada komponen horizontal.

Penguatan gelombang pada komponen vertikal dapat dinyatakan sebagai rasio spektrum komponen vertikal di permukaan dan di batuan dasar. Dalam pengamatan di lapangan ada dua komponen horizontal yang diukur yaitu komponen utara–selatan dan komponen barat–timur. Nakamura (1989) mengusulkan metode HVSR untuk mengestimasi frekuensi natural dan amplifikasi geologi setempat dari data mikrotremor. Perkembangan selanjutnya, metode ini mampu untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah (Nakamura, 1997), indeks kerentanan bangunan (Sato et al., 2008; Triwulan et al., 2010) dan interaksi antara tanah dan bangunan (Gallipoli et al., 2004; Triwulan et al., 2010). Metode ini berhasil untuk melokalisir daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat efek lokal (Panou et al., 2005), likuifaksi (Huang dan Tseng, 2002), interaksi antara bangunan dan tanah (Mucciarelli et al., 2004), dan kekuatan bangunan (Nakamura et al., 2000). Metode HVSR ini merupakan metode yang efektif, murah, dan ramah lingkungan yang dapat digunakan pada wilayah permukiman. Metode HVSR biasanya digunakan pada seismic pasif (mikrotremor) tiga komponen.

Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi natural dan amplifikasi. HVSR yang terukur pada tanah yang bertujuan untuk karakterisasi geologi setempat, frekuensi natural dan amplifikasi berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan (Herak, 2008). Sedangkan HVSR yang terukur pada bangunan berkaitan dengan kekuatan bangunan (Nakamura et al., 2000) dan keseimbangan bangunan (Gosar et al., 2010). Berkaitan dengan HVSR untuk karakterisasi geologi lokal, perlu diketahui parameter-parameter bawah permukaan yang mempengaruhi frekuensi natural dan amplifikasi. Hal ini mempunyai tiga tujuan. Pertama, interpretasi microzonasi dengan HVSR dapat dilakukan secara tepat. Kedua, mengetahui penyebab kerusakan akibat gempa dapat diketahui secara pasti. Ketiga, sebagai pertimbangan dalam mengekstraksi parameter bawah permukaan dengan kurva HVSR.

Agar dapat mengetahui parameter yang berpengaruh pada frekuensi natural dan amplifikasi, perlu dilakukan karakterisasi kurva HVSR melalui pemodelan kedepan. Dalam karakterisasi HVSR, perlu diketahui model gelombang yang terkandung dalam HVSR terlebih dulu. Gelombang yang terkandung dalam HVSR masih terdapat perbedaan (Dal Moro, 2010a; 2010b). Nakamura (2000) berpendapat bahwa HVSR merupakan gelombang

badan, dalam hal ini gelombang S, sedangkan Bonnefoy- Claudet et al. (2006a) menunjukkan bahwa HVSR terpengaruh gelombang permukaan, dalam hal ini gelombang Love dan Rayleigh.

Nakamura (1989) mengembangkan konsep HVSR dengan asumsi microtremor didominasi oleh gelombang geser dan mengabaikan gelombang permukaan (gelombang Rayleigh dan Love). HVSR ini dianggap sama dengan fungsi transfer antara getaran gelombang pada sedimen dan bedrock. Artinya, amplitudo dan frekuensi peak HVSR merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi setempat.

Berdasarkan tinjauan pustaka, gelombang microtremor tersusun atas gelombang Rayleigh dan Love dengan proporsi tertentu. Sebab, microtremor bersumber pada gelombang laut, angin, getaran akibat aktifitas gunung, dan getaran akibat aktifitas manusia (Bonnefoy-Caludet et al., 2006). Konno dan Ohmachi (1998) memaparkan bahwa walaupun microtremor didominasi oleh gelombang permukaan (Rayleigh dan Love), namun HVSR yang dikenalkan oleh Nakamura (1989) merepresentasikan karakteristik setempat. Selanjutnya, Beberapa peneliti (Arai dan Tokimatsu, 1998; 2000; Castellaro dan Mulargia, 2009) memaparkan bahwa kurva HVSR merupakan kontribusi gelombang permukaan. Sedangkan, Bonnefoy-Claudet et al. (2006) berpendapat bahwa kurva HVSR ialah gabungan antara gelombang permukaan dan frekuensi resonansi gelombang S. Rosenblad dan Goetz (2010) menunjukkan bahwa frekuensi natural yang diestimasi dari HVSR gelombang S dan gelombang Rayleigh mempunyai nilai yang hampir sama, tetapi amplifikasinya berbeda jauh. Meskipun beberapa peneliti berpendapat bahwa kurva HVSR tersebut terdapat sumbangsih pada gelombang permukaan, terutama pada frekuensi fundamental, HVSR yang berbasis gelombang badan (Herak, 2008) merupakan pendekatan yang lebih baik dari pada pendekatan dengan gelombang permukaan beberapa mode (Albareello dan Lunedei, 2010; Dal Moro, 2010).

Dal Moro (2010) memaparkan bahwa dengan pendekatan gelombang badan (Herak, 2008), frekuensi dasar lebih tepat daripada gelombang permukaan. Dal Moro (2010a; 2010c) juga menjelaskan bahwa pada frekuensi tinggi, kurva observasi HVSR terkadang terdapat puncak. Hal ini menunjukkan bahwa kurva HVSR observasi pada frekuensi tinggi terdapat sumbangsih gelombang permukaan. Selain itu, pada frekuensi rendah, kondisi angin dan cuaca dapat mempengaruhi HVSR (Ali et al., 2010) dan noise lingkungan juga turut berperan dalam mempengaruhi puncak frekuensi rendah (Parolai et al., 2004). Ini didukung oleh

Oliviera et al. (2006), yang mengatakan bahwa amplifikasi atau puncak kurva HVSR dapat lebih dari satu, dan amplifikasi pada frekuensi tinggi patut untuk dipertimbangkan. Untuk mengetahui pendekatan yang tepat (antara gelombang badan dan gelombang permukaan) pada kurva HVSR, perlu dilakukan simulasi numerik dengan menggunakan software ModelHVSR (Herak, 2008) dan microtrem (Lunedei dan Albarello, 2009).

ModelHVSR berbasis gelombang badan, sedangkan microtrem berbasis multi mode gelombang permukaan (Rayleigh dan Love) dan keduanya berbasis visko elastis. Menurut Nakamura (2008), pada frekuensi natural, energi gelombang Rayleigh mendekati nol, sedangkan pada frekuensi yang lebih tinggi, energinya membesar. Berdasarkan inilah, Tokeshi et al. (2008) mengestimasi frekuensi natural dengan menggunakan dispersi gelombang Rayleigh. Nakamura (2008) menunjukkan efek gelombang Rayleigh terhadap kurva HVSR, kurva HVSR pada sekitar frekuensi natural tidak terpengaruh gelombang Rayleigh, namun frekuensi yang lebih tinggi terpengaruh. Pengaruh gelombang Rayleigh ini nampak pada puncak kedua HVSR. HVSR dengan tanpa pengaruh gelombang permukaan memiliki puncak kedua, sedangkan HVSR dengan pengaruh gelombang Rayleigh dengan besaran tertentu dapat menghilangkan puncak kedua pada HVSR.

Setelah jelas bahwa kurva HVSR merupakan spektrum gelombang badan, tepatnya gelombang SH, maka permodelan ke depan untuk karakterisasi kurva HVSR dilakukan dengan menggunakan salah satu fungsi Software ModelHVSR yang dikembangkan oleh Herak (2008). ModelHVSR ini didasarkan pada medium homogen viscoelastisitas dengan gelombang vertikalnya diganti gelombang primer (secara teori gelombang SV), namun demikian, Herak (2008) menyatakan bahwa pendekatan ini valid. Menurut Herak (2008), terdapat enam parameter yang mempengaruhi kurva HVSR, antara lain: V_p , V_s , h , p , Q_p dan Q_s . Untuk mengetahui tingkat pengaruh keenam parameter tersebut, dapat dilakukan dengan melakukan cara permodelan ke depan yang memvariasikan satu variabel dengan variabel yang lainnya tetap. Karakterisasi ini, berguna untuk desain inversi kurva HVSR.

Untuk pekerjaan di masa depan, metode analisis mikrotremor dapat digunakan untuk mengukur gelombang percepatan pada permukaan lapisan terowongan, yang mudah diterapkan, membawa kerusakan yang dapat diabaikan pada lapisan beton dan memiliki biaya rendah. Lokasi cacat dan tingkat kerusakan lapisan terowongan dapat diselidiki dengan menganalisis gelombang percepatan. Namun, masih sulit untuk membedakan jenis kerusakan

(misalnya perbedaan antara rongga dan retakan) pada lapisan terowongan dengan menggunakan metode ini. Simulasi numerik dan lebih banyak pengukuran lapangan akan diperlukan untuk meningkatkan akurasi metode ini untuk tujuan aplikasi rekayasa masa depan.

Karena kegempaan dan kondisi geologis, Studi mikrozonasi sangat diperlukan dengan mempertimbangkan geologi setempat. Pendugaan kedalaman batuan dasar yang sesuai dengan standar internasional dapat dilakukan dengan menerapkan metode microtremors array untuk menentukan model bawah permukaan berdasarkan struktur kecepatan gelombang S. Metode ini sudah banyak dilakukan di beberapa negara terutama di Jepang, karena operasional kerja lapangannya cukup sederhana. Apalagi cara ini tidak membutuhkan sumber getaran. Oleh karena itu, dapat dilakukan di daerah padat penduduk. Akuisisi data yang dilakukan selama kerja lapangan menggunakan konfigurasi array segitiga yang memungkinkan kami untuk melakukan analisis menggunakan metode SPAC untuk mendapatkan kurva dispersi sedangkan struktur kecepatan gelombang S dapat diperkirakan dengan menggunakan algoritma genetika. Karakteristik geologi bawah permukaan yang didapat adalah bangunan yang mengalami kerusakan dimana daerah rawan kerusakan pada bagian utara daerah penelitian dengan nilai Vs dan rendah diantaranya merupakan jenis tanah lunak dengan kerusakan bangunan besar. Hasil dari sifat penskalaan sumber gempa yang disimulasikan dengan menggunakan hubungan empiris menunjukkan bahwa mungkin akan terjadi gempa kuat di daerah penelitian di masa yang akan datang. Untuk pekerjaan di masa depan, pengukuran mikrotremor lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan morfologi batuan dasar secara lebih rinci.

Penggunaan pengukuran mikrotremor tampaknya sangat berguna untuk memperkirakan respons lokasi untuk endapan vulkanik muda yang lebih tebal, dalam hal periode dominan yang lebih pendek dan lebih lama, berkontribusi sebagai metode yang cepat, sederhana dan ekonomis untuk gempa dan tujuan mikrozonasi. Ini mungkin juga menjadi alat yang berguna untuk survei geoteknik, untuk mendapatkan informasi tentang lapisan tanah dangkal dan dalam dan ketebalan sedimen. Peta periode dominan yang lebih pendek dan lebih lama akan menjadi panduan mendasar untuk pembangunan perumahan di masa depan dan rencana kota baru serta mitigasi dampak sosial-ekonomi.

2.8 Korelasi Empiris

Dalam rekayasa geoteknik, empirisme memiliki peran besar. Selain memberikan perkiraan awal, korelasi juga dapat digunakan untuk membandingkan nilai yang ditentukan dari pengujian laboratorium dan penyelidikan lapangan. Ada begitu banyak persamaan empiris dan grafik yang tersedia dalam literatur, yang secara teratur digunakan dalam desain di seluruh dunia. Ini berasal berdasarkan data laboratorium atau lapangan, pengalaman masa lalu, dan penilaian yang baik (Ameratunga et al., 2016). Data Geoteknik, baik dari lapangan atau laboratorium, bisa sangat mahal. Kita sering memiliki akses ke data lapangan yang sangat terbatas (misalnya SPT) dari beberapa lubang bor, bersama dengan beberapa data tes laboratorium pada sampel yang diperoleh dari lubang bor dan/atau lubang percobaan. Penggunaan korelasi empiris merupakan salah satu upaya untuk memaksimalkan hasil pengujian dari laboratorium dan ketersediaan data penyelidikan lapangan yang terbatas (Ameratunga et al., 2016)

Penelitian korelasi menggambarkan suatu pendekatan umum untuk penelitian yang berfokus pada penaksiran kovariasi diantara variabel yang muncul secara alami. Tujuan penelitian korelasi adalah untuk mengidentifikasi hubungan prediktif dengan menggunakan teknik korelasi atau teknik statistik yang lebih canggih. Hasil penelitian korelasi juga mempunyai implikasi untuk pengambilan keputusan, seperti tercermin dalam penggunaan prediksi aktuarial secara tepat. Keterbatasan yang paling besar dari penelitian korelasi adalah masalah penafsiran hubungan kausal. Penelitian korelasi kadang-kadang diperlukan sebagai penelitian deskriptif, terutama disebabkan penelitian korelasional mendeskripsikan sebuah kondisi yang sudah ada. Bagaimanapun, kondisi yang dideskripsikan berbeda secara nyata dari kondisi yang biasanya dideskripsikan dalam lampiran diri atau studi observasi.

Dalam penelitian korelasi, para peneliti biasanya hanya mendasarkan pada penampilan variabel sebagaimana adanya tanpa mengatur kondisi atau memanipulasi variabel tersebut. Oleh karena itu, peneliti hendaknya mempunyai cukup banyak alasan yang kuat guna mempertahankan hasil hubungan yang ditemukan. Penelitian korelasi lebih tepat jika dalam penelitian peneliti memfokuskan usahanya dalam mencapai informasi yang dapat menerangkan adanya fenomena yang kompleks melalui hubungan antar variabel. Sehingga, peneliti juga dapat melakukan eksplorasi studi melalui teknik korelasi parsial, dimana peneliti mengeliminasi salah satu pengaruh variabel agar dapat dilihat hubungan dua variabel yang dianggap penting.

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), Empiris adalah kajian yang berdasarkan pengalaman terutama yang diperoleh dari penemuan, percobaan, dan sekaligus pengamatan yang telah dilakukan. Empiris adalah segala sesuatu yang semata - mata didasarkan pada percobaan atau pengalaman dalam menentukan hasil yang dijalankan pada proses penyelidikan terkait dengan rumusan permasalahan dan tujuan yang dikorelasikan. Tahapan metode empiris dalam penelitian guna melakukan pembuktian penelitian yang dilakukan dengan siklus empiris (*empirical cycle*), terdiri atas observasi ialah proses pengamatan terhadap suatu fenomena dan penyelidikan tentang penyebabnya. Induksi, menjadi perumusan hipotesis sebagai penjelasan umum untuk fenomena tersebut. Deduksi, ialah perumusan eksperimen yang akan menguji hipotesis (yaitu mengkonfirmasikannya jika benar, menyangkalnya jika salah). Pengujian, menjadi prosedur dimana hipotesis penelitian diuji dan jenis data penelitian dikumpulkan. Evaluasi, menjadi tahapan interpretasi data dan perumusan teori melalui argumen abduktif yang menyajikan hasil eksperimen sebagai penjelasan paling masuk akal untuk fenomena tersebut.

2.9 Klasifikasi Tanah dari Berbagai Referensi

Tabel 1. Klasifikasi tanah oleh Kanai berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor (modifikasi) (Kanai,1983).

1981 (<i>Revised</i>)		1950	Kondisi Tanah
Klasifikasi	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi	
Jenis 1	>5	Jenis 1	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , gravel.
Jenis 2	1,33 – 5	Jenis 2	Sebagian besar lapisan diluvium atau lapisan aluvium dengan perbandingan ketebalan lapisan gravel pada area yang luas. Terdiri dari gravel, <i>sandy hard clay</i> dan <i>loam</i> .
		Jenis 3	Sebagian besar sangat didominasi oleh lapisan aluvium. Terdiri dari <i>sand</i> , <i>sandy clay</i> dan <i>clay</i> .
Jenis 3	<1,33	Jenis 4	Tanah yang sangat lunak yang terbentuk pada rawa dan lumpur. Terutama lapisan aluvium.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Kanai dan Omote - Nakajima (Kanai,1983)

Klasifikasi Tanah		Periode (T) (sekon)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote - Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 – 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dll.	Keras
Jenis II		0,10 – 0,25	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy - gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25 – 0,40	Batuan alluvial, dengan Ketebalan > 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel hard clay, loam</i> , dll.	Lunak
Jenis IV	Jenis C	> 0,40	Bahan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll.	Sangat Lunak

Tabel 3. Klasifikasi Batuan Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Oleh Kanai (1998)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hardy Sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis II	4 - 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 m
Tipe III	Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan > 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Kategori sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 - 30 m
Tipe II	Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpul, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
Tipe I				

Tabel 4. Klasifikasi Situs (SNI 1726-2012)

Klasifikasi Situs	Deskripsi Umum	\bar{V}_s (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (KPa)
SA	Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
SB	Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
SC	Tanah sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
SD	Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
SE	Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
		Setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. $PI > 20$ 2. Kadar air $\geq 40\%$ 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ KPa		
SF	Tanah Khusus	Membutuhkan evaluasi khusus		

Tabel 5. Klasifikasi Situs (SNI 1726-2019)

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 6. Site Classes Definitions in Eurocode 8

Site Class	$V_{s,30\text{ m}}$ (m/s)
A	$V_{s,30\text{ m}} > 800$
B	$360 < V_{s,30\text{ m}} \leq 800$
C	$180 \leq V_{s,30\text{ m}} \leq 360$
D	$V_{s,30\text{ m}} < 180$
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with V_s in the range given for sites of types C or D, with thickness varying between 5 and 20 m and which is underlain by stiffer material with $V_s > 800$ m/s
S1	Deposits containing a layer of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content with $V_s < 100$ m/s or $10 < S_u < 20$ kPa and at least 10 m thick
S2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A-E or S1

Tabel 7. Klasifikasi Jenis Batuan Berdasarkan National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP)

Tipe Batuan	Profil Jenis Batuan	Vs30
A	Hard Rock (Batuan Keras)	> 1.500 m/s
B	Rock (Batuan Sedang)	760-1.500 m/s
C	Very Dense Soil and Soft Rock (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	360-760 m/s
D	Stiff Soil (Tanah Sedang)	180-360 m/s
E	Soft Soil (Tanah Lunak)	< 180 m/s
	Any profile with more than 3 m of soft clay defined as soil with $PI > 20$, $w \geq 40\%$ and $S_u < 25$ kPa	

Tabel 7. Site Classes proposed by Rodriguez-Marek et al (2001)

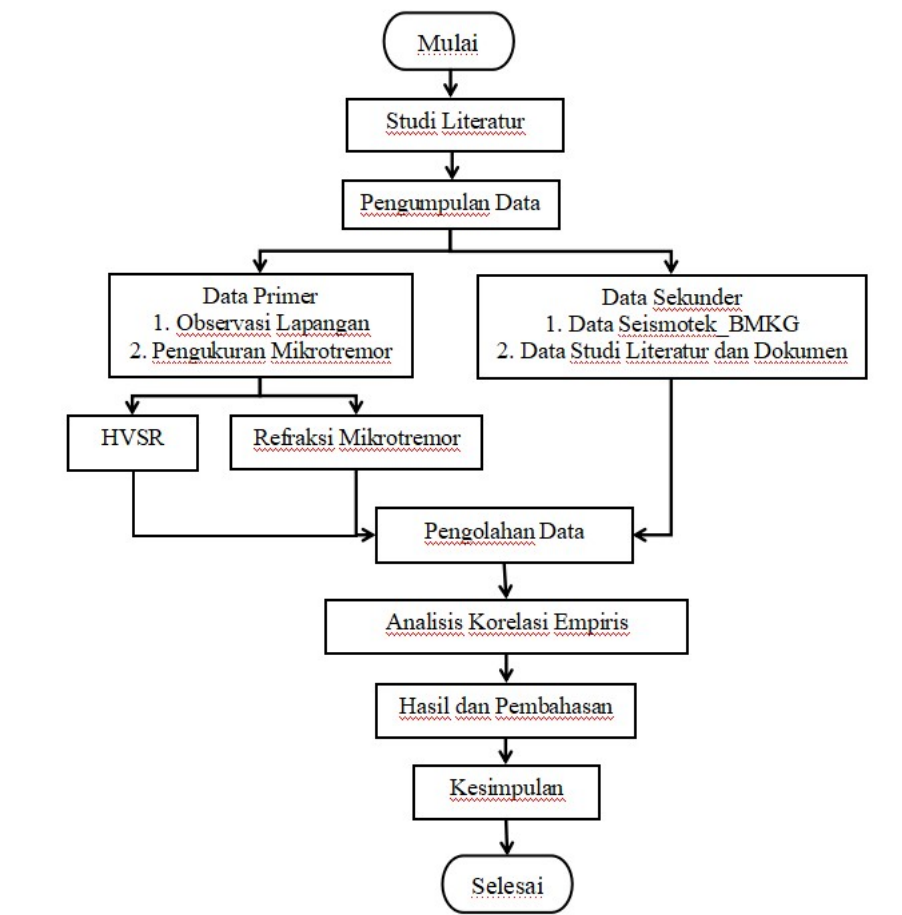
Site	Description	Site Period	Comments
A	Hard Rock	< 0.1 s	Hard, strong, intact rock ($V_s \geq 1500$ m/s)
B	Rock	< 0.2 s	Most "unweathered" California rock cases ($V_s \geq 760$ m/s or < 6 m of soil)
C-1	Weathered/Soft Rock	< 0.4 s	Weathered zone > 6 m and < 30 m ($V_s > 360$ m/s increasing to > 700 m/s)
C-2	Shallow Stiff Soil	< 0.5 s	Soil depth > 6 m and < 30 m
C-3	Intermediate Depth Stiff Soil	< 0.8 s	Soil depth > 30 m and < 60 m
D-1	Deep Stiff Holocene Soil, either S (Sand) or C (Clay)	< 1.4 s	Soil depth > 60 m and < 200 m. Sand has low fines content ($< 15\%$) or nonplastic fines ($PI < 5$). Clay has high fines content ($> 15\%$) and plastic fines ($PI > 5$).
D-2	Deep Stiff Pleistocene Soil, S (Sand) or C (Clay)	< 1.4 s	Soil depth > 60 m and < 200 m. See D1 for S or C sub- categorization.
D-3	Very Deep Stiff Soil	< 2.0 s	Soil depth > 200 m
E-1	Medium Depth Soft Clay	< 0.7 s	Thickness of soft clay layer 3 m to 12 m
E-2	Deep soft clay level	< 1.4 s	Thickness of soft clay layer > 12 m
F	Special, e.g. Potentially Liquefiable Sand or Peat	$= 1.0$ s	Holocene loose sand with high water table ($z_w \leq 6$ m) or organic peat

Tabel 8. Skala Bahaya Seismik

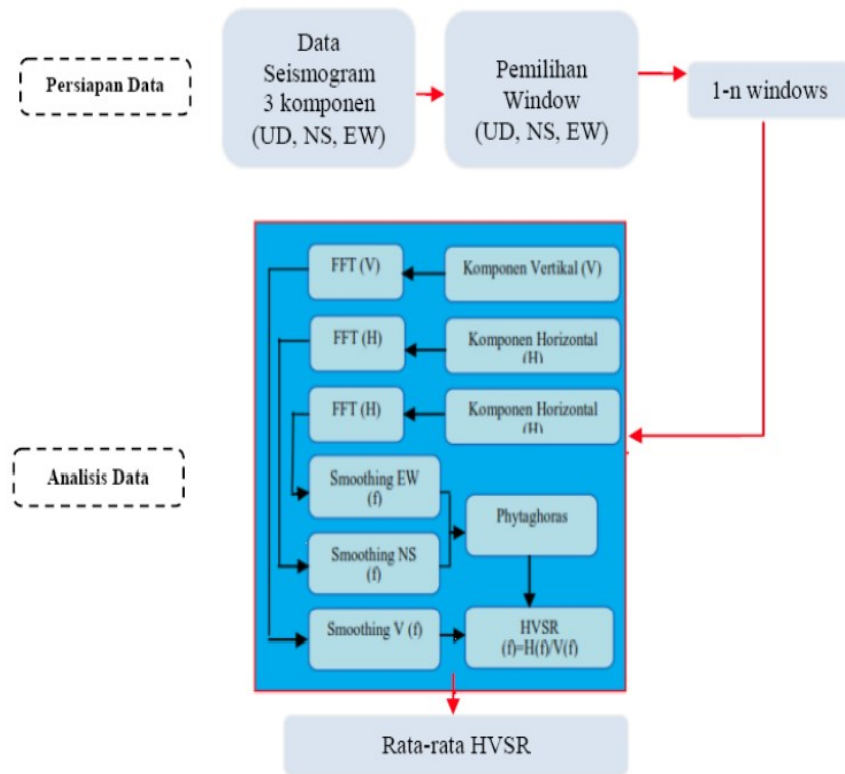
No.	Percepatan Tanah Maksimum		Kecepatan Tanah Maksimum (cm/s)	Skala Bahaya
	(g)	(gal)		
1	0,0000 – 0,1800	0,00 – 180,00	0,00 – 16,00	Rendah
2	0,1800 – 0,6500	180,00 – 650,00	16,00 – 60,00	Sedang
3	0,6500 – 1,2400	650,00 – 1240,00	60,00 – 116,00	Tinggi
4	> 1,2400	> 1240,00	> 116,00	Tinggi Sekali

3. METODE PENELITIAN

Langkah pertama yang akan dilakukan penelitian ini adalah membuat gambaran umum kerangka penelitian pada Studi Korelasi Empiris Untuk Menentukan Klasifikasi Lapisan Bawah Permukaan Tanah Dengan Metode Refraction Mikrotremor Pada Penyelidikan Tanah Di Lapangan sebagai berikut :



Gambar 1. Gambaran Umum Kerangka Penelitian



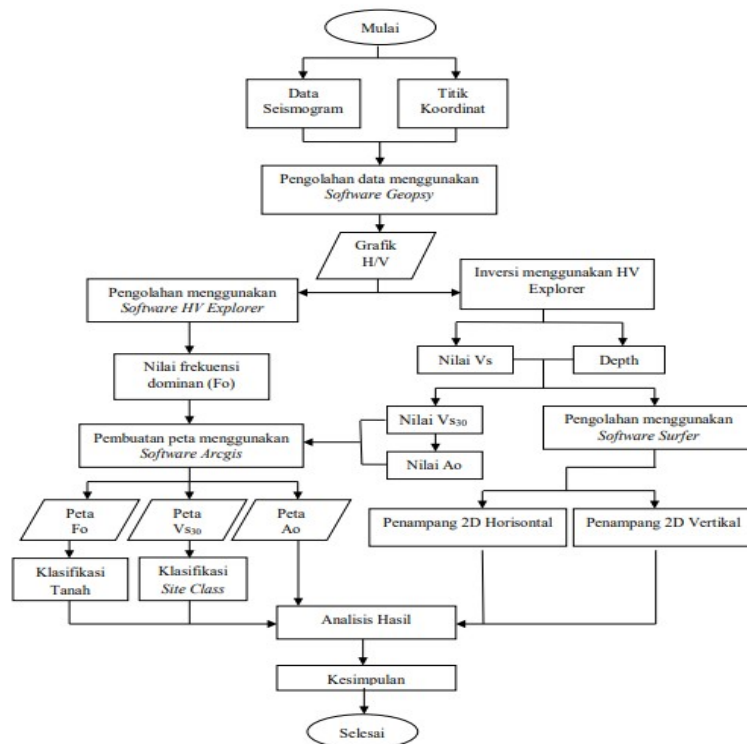
Gambar 2. Tahap - Tahap Metode Kurva HVSr Pada Proses Data Mikrotremor
(Ari Sungkowo, 2016)

Criteria for a reliable H/V curve	
i)	$f_0 > 10 / l_w$ and $n_s(f_0) > 200$
ii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.8f_0 < f < 2f_0$ if $10 < 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.8f_0 < f < 2f_0$ if $10 < 0.5\text{Hz}$

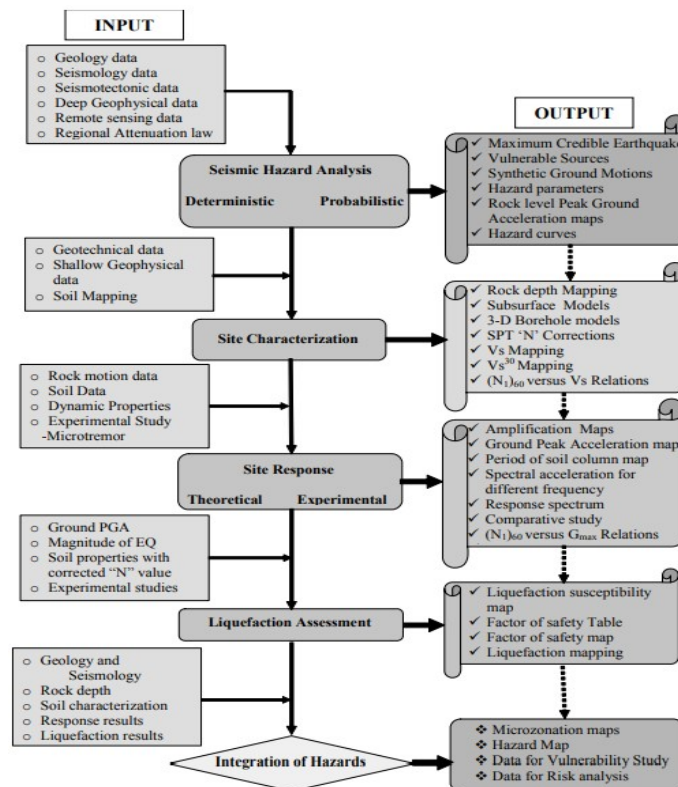
Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
i)	$\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$
ii)	$\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$
iii)	$A_0 > 2$
iv)	$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
v)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

• l_w = window length	• n_s = number of windows selected for the average H/V curve
• $n_b = l_w - l_w \cdot f_0$ = number of significant cycles	• f = current frequency
• f_{sensor} = sensor cut-off frequency	• f_0 = H/V peak frequency
• σ_A = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_A$)	• $\epsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A < \epsilon(f_0)$
• A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0	• $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
• $f =$ frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$	• $f =$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$
• $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided	• $\sigma_{logH/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{logH/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
• $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$	• V_{surf} = average S-wave velocity of the total deposits
• $V_{bedrock}$ = S-wave velocity of the surface layer	• h = depth to bedrock
• h_{min} = lower-bound estimate of h	

Gambar 3. Ketentuan Pemilihan Kurva H/V (SESAME European Research Project WP12)



Gambar 4. Tahapan Pengolahan Data Mikrotremor (Zuhaera, A., Suharno, S., & Mulyanto, B. S., 2019)



Gambar 5. Diagram Alir *Seismic Hazards* dan *Microzonation* (Anbazhagan, P. et al, 2008)

4. PENELITIAN TERDAHULU

Tabel 1. Hasil Review Jurnal ke 1

Judul Paper ke -1	Penentuan Tingkat Kerawanan Gempa Bumi Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) di Kota Surakarta
Nama Peneliti	Sari Pratiwi , Budi Legowo, Sorja Koesuma
DOI	
Topik Penelitian	Kota Surakarta termasuk wilayah yang mengalami dampak gempa bumi. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari gempa bumi yaitu melakukan analisa tingkat bahaya seismik sebagai salah satu usaha mitigasi bencana gempa dengan metode mikrotremor yang dapat diketahui nilai amplifikasi dan periode dominan.
Latar Belakang	Kota Surakarta termasuk wilayah yang mengalami dampak gempa bumi. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari gempa bumi yaitu melakukan analisa tingkat bahaya seismik sebagai salah satu usaha mitigasi bencana gempa dengan metode mikrotremor yang dapat diketahui nilai amplifikasi dan periode dominan. Pada penelitian ini telah dilakukan di Kota Surakarta menggunakan P.A.S.I Seismograph Mod. 16S24-P, 3D Borehole Geophone Model GFA 60/100. Interval pada setiap lokasi yaitu 1-3 km dengan 12 lokasi penelitian. Diperlukan waktu sekitar 20 menit dengan tiga kali pengulangan untuk perekaman data disetiap titik. Pengolahan data mikrotremor menggunakan software Geopsy dan Surfer 11.
Tujuan	Mengetahui nilai amplifikasi dan periode dominan di Kota Surakarta dengan menggunakan metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) di Kota Surakarta
Masalah Penelitian yang diangkat	Kota Surakarta terletak pada 07o34' LS dan 110o49'0 BT dengan luas wilayah kurang lebih 40 km ² . Berdasarkan informasi dari letak geografis dan struktur geologi, Kota Surakarta termasuk wilayah yang cenderung mengalami gempa bumi (Ani,dkk 2011). Gempa bumi merupakan fenomena alam berupa gelombang dengan kekuatan yang kecil maupun besar dan dapat menyebabkan kerusakan infastruktur baik besar maupun kecil. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari gempa bumi yaitu melakukan analisa tingkat bahaya seismik. Kegiatan analisa tingkat bahaya seismik ini merupakan salah satu mitigasi bencana gempa. Pelaksanaan pada mitigasi bencana tersebut yaitu dengan melakukan pengukuran menggunakan metode mikrotremor yang dapat menghasilkan respon dan tingkah laku lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempa bumi (Irsyam dkk, 2010 & Arifin dkk,2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai amplifikasi dan periode dominan di Kota Surakarta dengan menggunakan metode Refraksi Mikrotremor (ReMi). Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) merupakan metode yang dapat merekam penjalaran gelombang geser di bawah permukaan dengan

	<p>sensor data yang berasal dari sumber medan alami. Penggunaan metode refraksi mikrotremor ini cukup efektif karena wilayah survei yang cukup luas (Nurrahmi,2015). Mikrotremor dapat dikatakan sebagai getaran harmonik alami di bawah permukaan tanah yang terjadi secara terus menerus sehingga terjebak pada lapisan sedimen dan terpantulkan akibat adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap yang dikarenakan oleh getaran mikro dan kegiatan alam lainnya di bawah permukaan tanah. Adapun parameter yang dapat diukur dengan metode ini yaitu frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0) dan indeks kerentanan tanah (K_g) (Harahap dkk,2013) . Metode HVSR merupakan getaran gelombang geser (gelombang SH) yang terperangkap pada medium sedimen atau medium yang berada di atas bedrock (Mucciarelli, 2008)</p>
<p>Analisis tentang kedalaman, kejelasan dan keterhubungan setiap referensi</p>	<p>Hasilnya menunjukkan bahwa amplifikasi rendah pada zona 1 merupakan zona yang cukup aman terhadap bahaya gempa bumi. Zona 1 berada di wilayah Mojo, Moewardi, Sangkrah, Dawung, SMPN 10, Mojosongo, Lapangan Banyuanyar, Laweyan, Karang Asem dan Tipes dengan amplifikasi 0,807314 sampai dengan 2,60402. Lokasi pada jenis I termasuk wilayah yang cukup aman terhadap gempa bumi karena memiliki ketebalan sedimen yang tipis daripada jenis II. Jenis I berada di wilayah Mojo, Moewardi, Sangkrah, SMPN 10, Manahan, Mojosongo, Banyuanyar, Laweyan, Karang Asem, Jebres dan Tipes dengan periode dominan antara 0,058978s sampai dengan 0,231411s. Sebaran tingkat kerawanan gempa bumi di kota Surakarta dapat dilihat pada peta zonasi berdasarkan nilai A_0 dan T_0 yang kemudian diklasifikasikan hasilnya pada zona atau jenis tertentu sehingga diperoleh informasi berupa tingkat kerawanan dan juga jenis batuan yang tersusun dibawah permukaan tanah berdasarkan parameter yang diukur.</p>
<p>Metode/ Algoritma / Teknik yang digunakan</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode mikrotremor untuk pengambilan data menggunakan P.A.S.I Seismograph Mod. 16S24-P, 3D Borehole Geophone Model GFA 60/100, accu power supply, dan GPS. Interval yang digunakan pada setiap titik pengukuran yaitu sekitar 1-3 km dengan jumlah 12 titik. Pengambilan data untuk tiap lokasi adalah 20 menit dengan tiga kali pengulangan. Pengukuran koordinat latitude, longitude dan ketinggian dilakukan supaya diketahui posisi pengukuran titik yang akan direkam. Data yang direkam dari metode mikrotremor yaitu berupa file data berformat (.DAT) yang berisi rekaman gelombang natural kemudian file tersebut diolah dengan software Sublime Text 3 untuk menggabungkan file perekaman data, software Geopsy untuk mengolah data menjadi grafik HVSR dan software Surfer 11 untuk proses pembuatan peta mikrozonasi.</p>
<p>Analisis Kelebihan</p>	<p>Nilai amplifikasi di Kota Surakarta terbagi dalam dua zona yaitu zona 1 dan zona 2. Zona 1 merupakan zona yang cukup aman terhadap bahaya gempa bumi karena memiliki amplifikasi yang</p>

	rendah (Mojo, Moewardi, Sangkrah, Dawung, SMPN 10, Mojosongo, Banyuanyar, Laweyan, Karang Asem dan Tipes). Sedangkan Zona 2 mempunyai amplifikasi sedang atau mempunyai risiko sedikit lebih tinggi (Manahan dan Jebres). Nilai periode dominan di Kota Surakarta terbagi dalam dua jenis yaitu jenis I dan II. Jenis I merupakan formasi geologi yang terdiri dari batuan tersier atau lebih tua (hard sandy, gravel). Lokasi pada jenis I (Mojo, Moewardi, Sangkrah, SMPN 10, Manahan, Mojosongo, Banyuanyar, Laweyan, Karang Asem, Jebres dan Tipes) termasuk wilayah yang cukup aman terhadap gempa bumi karena memiliki ketebalan sedimen yang tipis daripada jenis II (Dawung). Jenis II merupakan formasi geologi yang terdiri dari batuan alluvial (sandy-gravel, sandy hard clay, loam).
Analisis Kekurangan	Penelitian baru terbatas klasifikasi jenis batuan belum sampe mengetahui bahaya seismik dan prediksi kerusakan yang mungkin terjadi
Usulan Topik Penelitian Baru	Diharapkan adanya penelitian lanjutan mengenai Vs30 dengan cakupan daerah penelitian yang lebih luas lagi agar dapat mengetahui bahaya seismik sekaligus dapat memprediksi kerusakan yang mungkin terjadi.
Gambaran Umum Metode atau Teknik yang akan digunakan	

Tabel 2. Hasil Review Jurnal ke 2

Judul Paper ke -1	Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) Di Kelurahan Talise
Nama Peneliti	Nurrahmi , Rustan Efendi , Sandra
DOI	
Topik Penelitian	Mengetahui klasifikasi dan jenis batuan bawah permukaan melalui analisis kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (Vs30) di Wilayah Kelurahan Talise. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Refraksi Mikrotremor (ReMi). Metode ini merekam penjalaran gelombang geser yang terjadi dibawah permukaan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan program Surface Wave Analysis Wizard dan program WaveEq (Surface Wave Analysis). Interpretasi pada 6 lintasan menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman yang diperoleh, nilai range kecepatan gelombang geser juga semakin bertambah.
Latar Belakang	Kelurahan Talise merupakan daerah dengan aktifitas pembangunan yang cukup tinggi pada saat sekarang. Kondisi bangunan di daerah ini rentan terhadap kerusakan. Hal ini disebabkan karena banyak bangunan yang didirikan kurang mempertimbangkan struktur

	<p>lapisan bawah permukaan. Mengetahui klasifikasi dan jenis batuan bawah permukaan melalui analisis kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) di Wilayah Kelurahan Talise.</p>
Tujuan	<p>Mengetahui klasifikasi dan jenis batuan bawah permukaan melalui analisis kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) di Wilayah Kelurahan Talise</p>
Masalah Penelitian yang diangkat	<p>Penelitian ini berupa klasifikasi dan jenis batuan bawah permukaan dengan 4 lokasi penelitian yang berbeda, lokasi pertama Lapangan Abadi Lapangan Jabal Nur, Mapolda Sulteng, dan Sekolah Model Terpadu Madani</p>
Analisis tentang kedalaman, kejelasan dan keterhubungan setiap referensi	<p>Hasil yang diperoleh dari proses pengambilan data adalah rekaman penjalaran gelombang geser pada lapisan bawah permukaan yang terekam pada seismograf. Gelombang yang terekam merupakan hubungan antara waktu yang dibutuhkan untuk merambat menuju lapisan batuan di bawah permukaan kemudian kembali memantul ke penerima gelombang di permukaan dan akan terekam melalui geophone. Data yang diperoleh dalam domain waktu kemudian diubah ke domain frekuensi dengan menggunakan transformasi Fourier. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan kurva dispersi. Profil kecepatan gelombang geser yang dihasilkan pada setiap Lintasan menunjukkan perbedaan jenis batuan atau material bawah permukaan. Hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman yang dihasilkan merupakan parameter yang digunakan untuk menghasilkan nilai V_{s30}. Selanjutnya dengan nilai V_{s30} yang dihasilkan memungkinkan untuk dilakukan klasifikasi tingkat kerentanan batuan bawah permukaan daerah Kelurahan Talise. Hasil interpretasi pada Lintasan 1 yang berada di Lapangan Abadi, menunjukkan bahwa berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser untuk lapisan pertama ditafsirkan sebagai pasir tidak tersaturasi, sedangkan lapisan kedua, ketiga, dan keempat dapat ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) yang diperoleh adalah untuk Lintasan 1 nilai V_{s30} yaitu 156,6 m/s. Dengan demikian wilayah Lapangan Abadi diklasifikasikan kedalam tipe E yaitu termasuk kedalam jenis tanah lunak. Pada Lintasan 2 yang juga berada di wilayah Lapangan Abadi, hasil interpretasi data diperoleh nilai kecepatan gelombang geser pada setiap lapisan, yaitu untuk lapisan pertama ditafsirkan sebagai pasir tidak tersaturasi sedangkan lapisan kedua, ketiga, dan keempat ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Sedangkan untuk nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) yang diperoleh untuk lintasan 2 nilai V_{s30} adalah sebesar 129,1 m/s. Nilai V_{s30} yang dihasilkan rendah sehingga wilayah Lapangan Abadi diklasifikasikan kedalam tipe E yaitu termasuk kedalam jenis tanah lunak. Hasil interpretasi yang diperoleh pada Lintasan 3 yang terletak di Lapangan Jabal Nur menunjukkan lapisan pertama sampai lapisan keenam dapat</p>

	<p>ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m yang diperoleh yaitu untuk lintasan 3 adalah sebesar 243,6 m/s. Berdasarkan hasil tersebut sehingga wilayah Lapangan Jabal Nur diklasifikasikan kedalam tipe D yang termasuk kedalam jenis tanah sedang. Lintasan 4 yang juga terdapat di Lapangan Jabal Nur, berdasarkan hasil interpretasi data yang diperoleh, untuk lapisan pertama sampai lapisan keenam ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m yang diperoleh yaitu nilai Vs30 yang dihasilkan adalah 208,0 m/s. Sehingga wilayah Lapangan Jabal Nur diklasifikasikan kedalam tipe D yang termasuk kedalam jenis tanah sedang. Pada Lintasan 5 yang terletak disamping Mapolda Sulteng, hasil interpretasi data diperoleh yaitu lapisan pertama dapat ditafsirkan sebagai pasir tidak tersaturasi, lapisan kedua sampai lapisan keenam ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (Vs30) yang diperoleh yaitu sebesar 185,6 m/s, sehingga wilayah tersebut diklasifikasikan kedalam tipe D yaitu termasuk jenis tanah sedang. Lintasan 6 yang terletak di Sekolah Model Terpadu Madani, hasil interpretasi data yang diperoleh maka dapat ditafsirkan sebagai berikut : lapisan pertama sampai lapisan kelima dapat ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman</p>
<p>Metode/ Algoritma / Teknik yang digunakan</p>	<p>Penelitian ini dilakukan pada tanggal 14 Agustus 2014 di 4 lokasi. Lokasi penelitian berada di Wilayah Kelurahan Talise, Kecamatan Mantikulore. Posisi pengukuran berada pada ketinggian 20 meter sampai 102 meter di atas permukaan laut. Dalam akuisisi data lapangan digunakan Satu set alat Seismograf Pasi MD 16S24P dengan detektor geophone 24 chanel. Pada pengukuran digunakan jarak 4 meter untuk setiap geophone dengan menggunakan 24 geophone sehingga total jarak dari satu Lintasan adalah 96 m. penentuan jarak disesuaikan dengan kondisi daerah penelitian. Pengukuran dilakukan sebanyak 6 Lintasan. Lintasan 1 dan 2 dilakukan di Lapangan Abadi, Lintasan 3 dan 4 di lakukan di Lapangan Jabal Nur, Lintasan 5 di lakukan di Mapolda Sulteng, sedangkan Lintasan 6 di lakukan di Sekolah Model Terpadu Madani.</p> <p>Pengolahan data di lakukan untuk memperoleh penampang bawah permukaan pada lokasi penelitian. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan Software Wave Analysis Wizard untuk mendapatkan kurva dispersi. Hasil kurva dispersi kemudian dilakukan inversi dengan menggunakan program WaveEq untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser yang ditampilkan dalam bentuk 1 dimensi. Interpretasi data dilakukan dengan menganalisis profil kecepatan gelombang geser untuk menentukan struktur batuan bawah permukaan hingga kedalaman 30 m. Klasifikasi jenis batuan bawah permukaan dilakukan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser serta ketebalan setiap lapisan yang</p>

	terbentuk hingga kedalaman 30 m dengan menggunakan Persamaan Nilai Vs30, dan mengacu pada Tabel Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan Uniform Building Code (UBC).
Analisis Kelebihan	Berdasarkan interpretasi dari hasil pengolahan data analisis gelombang geser Vs30 di Kelurahan Talise dapat disimpulkan berdasarkan hasil analisis gelombang geser hingga kedalaman 30 m (Vs30) diperoleh untuk Lintasan 1 dan Lintasan 2 yaitu pada lapisan pertama ditafsirkan sebagai pasir tidak tersaturasi sedangkan lapisan kedua, ketiga, dan keempat ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Lintasan 3 dan Lintasan 4 untuk lapisan pertama sampai lapisan keenam ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Lintasan 5 untuk lapisan pertama ditafsirkan sebagai pasir tidak tersaturasi, sedangkan lapisan kedua sampai lapisan keenam ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Pada Lintasan 6 yaitu untuk lapisan pertama sampai lapisan kelima dapat ditafsirkan sebagai endapan alluvium. 2. Nilai Vs30 yang diperoleh, menunjukkan bahwa pada Lokasi penelitian Lapangan Abadi diklasifikasikan sebagai tipe batuan E yaitu termasuk tanah lunak. Sedangkan untuk Lapangan Jabal Nur, Mapolda Sulteng, dan Sekolah Model Terpadu Madani diklasifikasikan kedalam tipe batuan D yaitu termasuk jenis tanah sedang.
Analisis Kekurangan	Penelitian baru terbatas klasifikasi jenis batuan belum sampe mengetahui bahaya seismik dan prediksi kerusakan yang mungkin terjadi
Usulan Topik Penelitian Baru	Diharapkan adanya penelitian lanjutan mengenai Vs30 dengan cakupan daerah penelitian yang lebih luas lagi agar dapat mengetahui bahaya seismik sekaligus dapat memprediksi kerusakan yang mungkin terjadi.
Gambaran Umum Metode atau Teknik yang akan digunakan	

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anbazhagan, P., & Sitharam, T. G. (2008). Seismic microzonation of Bangalore, India. *Journal of Earth System Science*, 117(2), 833-852.
- Ani, Ari Yuni. (2011). Analisa Struktur Bawah Permukaan di Wilayah Surakarta Menggunakan Metode Gravitasi. Skripsi. Departemen Fisika Surakarta Universitas Sebelas Maret.
- Arifin, Satria Subkhi., Mulyatno, Bagus Sapto., Marjiyono., Setianegara, Roby. (2014). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Eksplorasi*. Vol 2/No.1.
- Asrurifak, M., Irsyam, M., Hutapea, B. M., Ridwan, M., Pramatatya, A. V., & Dharmawansyah, D. (2013). Pengembangan Peta Klasifikasi Tanah dan Kedalaman

- Batuan Dasar untuk Menunjang Pembuatan Peta Mikrozonasi Jakarta Dengan Menggunakan Mikrotremor Array. *Pertemuan Ilmiah Tahunan–XVII HATTI*. 17 (7).
- Bemmelen, R.W. Van, 1949, The Geology of Indonesia. Government Printing Office, The Hague, p.732.
- Bonnefoy-Claudet, S, Cotton, F., Bard, P.Y.(2006b). The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies, *Earth- Science Reviews*. doi:10.1016/j.earscirev.2006.07.004
- Bonnefoy-Claudet,S., Cornou,C.,Bard,PY., Cotton,F., Moczo,P., Kristek, J., and Fäh, D.(2006a). H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulation.*Geophys Journal Int*.Vol.167,pp.827–837.
- Cahyaningtyas, 2012, Studi Kerawanan Seismik Kecamatan Temon, Wates dan Panjatan Kabupaten Kulonprogo, Tesis Program Studi Ilmu Lingkungan Minat Studi Geo-Informasi untuk Manajemen Bencana
- Dal Moro, G.(2010). Some Thorny Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: an Overview. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, special issue, submitted.
- Daryono, Sutikno, Junun S., Kirbani S.B., and Dulbahri, 2009, Local Site effect of Graben Bantul Using Mikrotremor Measurement, *Proceedings of International Conference Earth Science and Technology*, Department of Geological Engineering, Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Dharmawansyah, D., Irsyam, M., Asrurifak, M., & Simatupang, P. (2014). Studi Pembuatan Peta Percepatan Puncak di Permukaan Tanah dan Peta Resiko Gempa Akibat Gempa Benioff di DKI Jakarta untuk Penunjang Pembuatan Peta Mikrozonasi Jakarta.
- Gallipoli, M.R., M. Mucciarellia, R.R. Castroc, G. Monachesid, P. Contrie. (2004). Structure, soil–structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.24, pp:487–495
- Harahap, Reza Agus Parlindungan., Fatmawati, Laily Endah., Soemitro, Ria Asih Aryani., Satrya, Trihanyndio Rendy. 2013. Analisa Mikrotremor Dengan Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) untuk Pemetaan Mikrozonasi di Kelurahan Kejawan Putih Tambak Surabaya. *Jurnal Teknik POMITS*. VOL. 1, NO. 1, 1-4.
- Herak, M., 2008, ModelHVSR-A Matlab tool to Model Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Ambien Noise, *Computer&Geoscience* 34 (2008) 1514-1526
- Huang, H. and Tseng, Y. 2002 . Characteristics of Soil Liquefaction Using H/V of Microtremors in Yuan-Lin Area, Taiwan, *TAO*, Vol. 13, No. 3, 325-338, September 2002
- Ibs-von, M.S., and Wohlenberg, J. 1999, Microtremor Measuremen Used to Map Thicness of Soft Sediments, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 89, No. 1, pp. 250-259, February 1999
- Hutapea, B. M., & Mangape, I. (2009). Analisis hazard gempa dan usulan ground motion pada batuan dasar untuk kota Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 16(3), 121-132.
- Infrastructure Codes in Indonesia. Proceeding the 6th Engineering Conference in Asia Region: Embracing the Future through Sustainability.ISBN 1978-602-8605-08-3.
- Irsyam M., dkk, 2010, Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, Laporan Studi.
- Irsyam, M., Dangkua, D. T., Hoedajanto, D., Hutapea, B. M., Kertapati, E. K., Boen, T., & Petersen, M. D. (2008). Proposed seismic hazard maps of Sumatra and Java islands and microzonation study of Jakarta city, Indonesia. *Journal of earth system science*, 117(2), 865-878.

- Irsyam, M., Hutabarat, D., Asrurifak, M., Imran, I., Widiyantoro, S., Hendriyawan, D., ... & Iai, S. (2015). Development of seismic risk microzonation maps of Jakarta city. *Geotechnics for Catastrophic Flooding Events*, 35-47.
- Irsyam, Masyhur., Sengara, Wayan., Aldiamar, Fahmi., Widiyantoro, Sri., Triyoso, Wahyu., Hilman, Danny., Kertapati, Engkon., Meilano, Irwan., Suhardjono., Asrurifak, M., Ridwan, M., Hutabarat, Daniel., Sidi, Indra Jati., Merati, Widiadnyana. 2010. Development of Seismic Hazard and Risk Maps for New Seismic Building and
- Kanai, K., 1951, Relation between the nature of surface layer and the amplitudes of earthquake motions I, Bull. Earthquake Research Institute, Tokyo University. 30, 31–37
- Kanai, K., 1998. Seismology in Engineering, Japan: Tokyo University.
- Kanai, Kei. 1983. Engineering Seismology. Japan : Tokyo University.
- Kertapati, E., Marjiyono, 2007, Correlation of Site Condition-Building Damages and Ground Rupture of the 27 May 2006 Yogyakarta Earthquake- Centre Java and Microzonation of The Area Damage, Seminar dan Pameran 138
- Konno, K., and Ohmachi, T. (1998). Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 88, No. 1, pp 228-241.
- Lachet, C., dan Brad, P.Y., 1994, Numerical and Theoretical Investigations on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique, J. Phys Earth, Vol. 42, pp. 377-397.
- Louie, J.N., 2001, Faster, Better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bulletin of the Seismological Society of America.
- Marjiyono, 2010, Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung, Bandung: Thesis ITB.
- Milton B. Dobrin. 1960. Introduction To Geophysical Prospecting. Canada. hlm.27
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior* (Vol. 3). New York: John Wiley & Sons.
- Mucciarelli, M., Other, C., Gosar, D., Herak, A., Albarello, M. (2008). Assessment of Seismic Site Amplification and of Seismic Building Vulnerability in the Republic of Macedonia, Croatia and Slovenia. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Nakamura Y (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Q Rep RTRI 30:25–33
- Nakamura, Y, 2007, Development of Vulnerability assessment for ground and structures using microtremor, System and Data Research Co., Ltd.
- Nakamura, Yutaka. 2008. On The H/V Spectrum. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Nakamura. Y., 2000, Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application, Japan: Tokyo University.
- Nandi Haerudin, N. H., ALAMI, F., & Rustadi, R. (2019). Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake Dalam Ilmu Kebumihan.
- Nath, S.K. and Thingbaijam, K.K.S., 2009. Seismic Hazard Assessment – a Holistic Microzonation Approach, Dept. Geology and Geophysics, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India, Nat. Hazards Earth Syst. Sci, 9, 1445-1459.
- Nurrahmi., Efendi, Rustan., Sandra. 2015. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) di Kelurahan Talise. Gravitasi. Vol. 14 No.1 ISSN: 1412-2375.

- Okada H. 2003, The Microseismic Survey Method: Society of Exploration Geophysicists of Japan, Translated by Koya Suto, Geophysical Monograph Series No. 12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa
- Ozer, C., Ozyalin, S., Ozel, O., & Polat, O. (2017). Determination of soil characteristic using SPAC method in Karsiyaka-Izmir, Turkey. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*, 5(2), 53-59.
- Rodriguez-Marek, A., Bray, J. D. & Abrahamson, N. A. (2001). An empirical geotechnical site response procedure. *Earthquake Spectra*, 17(1), 65–87
- Rošer, J. and Gosar, A, 2010, Determination of Vs30 for seismic ground classifications in the Ljubljana area, Slovenia, *Acta Geotechnica Slovenia*.
- Sadisun, I., Hutapea, B., Afriansyah, T., Pindratno, H., Firmanti, A., Ridwan, M., ... & Pandhu, R. (2014). Development of seismic risk microzonation maps of Jakarta city. *Safety and Reliability: Methodology and Applications*, 35.
- Sato, T., Nakamura, Y., and Saita, J. 2004. Evaluation of The Amplification Characteristics of Subsurface Using Microtremor and Strong Motion : The Studies at Mexico City, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 862, Vancouver, B.C., Canada
- SESAME, WP12 (2004) Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations-Measurements, processing and interpretation. SESAME European research project, Deliverable D23. 12., Project No. EVG1-CT2000-00026 SESAME, 62 pp
- Sitharam, Microzonation Studies in India: Experiments and Experiences, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- Soehaimi, A. (2009). Potential Earthquake Hazard Microzonations Of The Jakarta City. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(2), 139-150.
- Standar Nasional Indonesia (2012), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726:2012), Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (2019), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726:2019), Badan Standarisasi Nasional.
- Stokoe II, K.H., Rosenblad, B., Rathjeand, E.M., 1999, Shear Wave Velocity Profiling by the SASW Method at Selected Strong-Motion Stations in Turkey, University of Texas at Austin.
- Sungkono, B. J. (2011). Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur Dan Permodelan. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*.
- Sungkowo, A. (2016). Studi Kerentanan Seismik dan Karakteristik Dinamik Tanah di Kota Yogyakarta dari Data Mikrotremor. (Doctoral dissertation, UII).
- Susilawati, 2008, Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelahan Struktur Bagian Dalam Bumi, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- Tokimatsu, K., 1995, Geotechnical Site Characterization Using Surface Waves, Japan: Geotechnical Engineering.
- Triwulan, W., Utama, D., Warnana, D., and Sungkono, 2010, Vulnerability index estimation for building and ground using microtremor, The second International Seminar on applied Technology, Science and Arts
- Vidayanti, D., Simatupang, P. T., & Silalahi, S. Korelasi Nilai N-Spt Dengan Parameter Kuat Geser Tanah Untuk Wilayah Jakarta Dan Sekitarnya (133g).
- Wangsadinata, W. (2006). Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2002. Shortcourse HAKI 2006. Jakarta.
- Widodo Pawirodikromo, Prof., Ir., MSCE., PhD. 2012. Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.

- Yuliawati, W. S., Rasimeng, S., & Karyanto, K. (2019). Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan Menggunakan Matlab. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5(1), 45-59.
- Zaharia, B., Radulian, M., Popa, M., Grecu, B., Bala, A. and Tataru, D.2008, Estimation of the local response using the Nakamura methode for the Bucharest area, Romanian Report in Physics, Vol. 60, No.I, P. 131-144 .
- Zuhaera, A., Suharno, S., & Mulyanto, B. S. (2019). Inversi Mikrotremor Untuk Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Dan Mikorozonasi Kabupaten Bandung. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5(2), 3-14.