

PENENTUAN KECEPATAN GELOMBANG GESER TANAH DENGAN METODE *MULTI-CHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*

Ariestianty, S.K.¹⁾, Chik, Z., Nayan, K.A.M. , dan Taha, M.R.²⁾, Rosyidi, S.A.³⁾

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan¹⁾
Jl. A.H. Nasution No. 264, Ujungberung-Bandung
Email: susy_kartika@yahoo.com

Universiti Kebangsaan Malaysia, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur²⁾
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik³⁾
Jl. Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul Yogyakarta
Email: atmaja_sri@umy.ac.id

Diterima : 2 Nopember 2009; Disetujui : 21 Desember 2009

ABSTRAK

Metode analisis gelombang permukaan dengan menggunakan beberapa alat penerima (geofon) atau Multi Channel Analysis of Surface Wave adalah salah satu pengujian seismik yang bersifat non-destruktif untuk mengukur kecepatan gelombang geser tanah. Pengujian in situ ini merupakan suatu metode yang sederhana, cepat, efisien dan murah jika dibandingkan dengan metode seismik sebelumnya yang hanya menggunakan sepasang alat penerima (geofon). Dalam kajian ini telah digunakan metode pengujian seismik yang menggunakan 24 geofon vertikal yang berfrekuensi 4.5 Hz, untuk merekam perambatan gelombang permukaan. Selanjutnya, hasil rekaman data seismik yang diperoleh ditransformasi untuk membentuk kurva dispersi kecepatan fasa. Kemudian dari proses inversi dimana perubahan kecepatan fasa terhadap frekuensi diamati dan dianalisis, maka akan diperoleh suatu profil kecepatan gelombang geser tanah sebagai hasil akhirnya. Untuk mengevaluasi kemampuan dan tingkat kepercayaan dari metode Multi-channel Analysis of Surface Wave, maka dilakukan perbandingan antara hasil dari pengujian metode ini dengan hasil dari uji Penetrasi Standar. Secara umum, nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari metode Multi-channel Analysis of Surface Wave menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi daripada nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari perhitungan dengan uji Penetrasi Standar. Penyebaran nilai dari kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari metode Multi-channel Analysis of Surface Wave ini yaitu kurang daripada 20%. Nilai kecepatan gelombang geser ini masih berada dalam batas kisaran toleransi dan relatif masih mempunyai hubungan yang cukup bagus dengan nilai dari hasil uji Penetrasi Standar.

Kata Kunci: *kecepatan gelombang geser, Multi Channel Analysis of Surface Wave, pengujian seismik non-destruktif, profil tanah, gelombang permukaan*

ABSTRACT

Multi-channel analysis of surface wave is a non-destructive seismic test that measures shear wave velocities of soil. This in situ test is a simpler, faster, efficient and low cost method compared to other previous seismic method that only uses two receivers. The method is applied in this study uses 24 vertical receivers or geophones of 4.5 Hz to record the propagation of surface waves. Furthermore, the seismic data records are transformed to construct the phase velocity dispersion curves. As a result, the shear wave velocity (V_s) profile is produced from the inversion process that observes the changes of phase velocity with frequency. Comparison between Multi Channel Analysis of Surface Wave and Standard Penetration Test results is also performed in order to evaluate the reliable and appropriateness of Multi-channel Analysis of Surface Wave method. In general, the results show that shear wave velocities obtained from Multi-channel Analysis of Surface Wave method yield higher

values than shear wave velocities from Standard Penetration Test. The deviation of shear wave velocities obtained from this method is less than 20%. The values of shear wave velocities are in allowable range and are relatively in good agreement with Standard Penetration Test result.

Keywords: shear wave velocity, Multi Channel Analysis of Surface Wave, non-destructive seismic test, soil profile, surface wave

PENDAHULUAN

Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan salah satu parameter masukan yang sangat penting untuk memodelkan sifat-sifat tanah di bawah kondisi beban siklis. Dari nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh, maka sifat-sifat dinamis tanah seperti modulus geser (G) dan rasio redaman (D) dapat ditentukan. Untuk mengukur kecepatan gelombang geser (V_s) ini, ada beberapa metode seismik yang dapat digunakan. Salah satunya adalah suatu metode seismik yang merekam perambatan gelombang permukaan dengan menggunakan beberapa alat penerima (geofon) yang ditancapkan pada permukaan tanah. Metode seismik ini dikenal sebagai *Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW)* atau metode analisis gelombang permukaan dengan banyak saluran, yang dikembangkan oleh Park (1995). Biasanya, jumlah alat penerima yang digunakan untuk merekam perambatan gelombang permukaan pada metode ini adalah 12 hingga 48 penerima (geofon).

Sebelumnya, telah berkembang metode seismik yang merekam perambatan gelombang permukaan dengan menggunakan hanya sepasang alat penerima saja, yang dikenal dengan *Spectral Analysis of Surface Wave (SASW)* atau analisis spektral gelombang permukaan (Nazarian & Stokoe, 1984). Pelaksanaan metode ini di lapangan, dengan hanya menggunakan sepasang geofon, menjadi kurang efektif dan memerlukan waktu yang cukup lama. Dimana untuk mendapatkan rekaman gelombang permukaan untuk suatu kedalaman tertentu diperlukan beberapa kali perpindahan konfigurasi geofon ke sumber getarnya. Untuk memperbaiki kelemahan dari metode *SASW*, maka dikembangkanlah metode *MASW* yang pelaksanaannya di lapangan lebih cepat, efisien dan efektif. Selain karena proses pelaksanaannya yang lebih cepat, metode ini juga mempunyai kelebihan dalam proses pengolahan dan analisis data seismik.

Identifikasi jenis-jenis gelombang, pemisahan mode dan gangguan dapat dievaluasi dan dikurangi dalam tahap pemrosesan data dengan lebih akurat dan dipercaya (Ivanov et al., 2001; 2005; Park et al., 2002). Pada metode *MASW*, kurva dispersi dapat dibentuk sekaligus dari hasil rekaman data seismik pada beberapa geofon dengan jarak yang berbeda-beda dari sumber getar (Park et al., 1998). Dan kurva dispersi yang diperoleh ini dapat terbentuk dengan lebih halus dan akurat pada kisaran frekuensi yang diselidiki, terutama pada pengukuran frekuensi rendah (Foti, 2000).

Oleh karena itu pada kajian ini, metode *MASW* digunakan untuk mengukur dan mendapatkan profil kecepatan gelombang geser tanah. Selanjutnya, hasil dari metode *MASW* ini dibandingkan dengan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yang diperoleh dari pengujian penetrasi standar (*Standard Penetration Test*). Dengan melakukan perbandingan beberapa korelasi dari peneliti-peneliti sebelumnya yang sering digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s).

KAJIAN PUSTAKA

Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan parameter *in situ* yang biasa diukur dan digunakan dalam penyelidikan geofisika dangkal untuk memperoleh karakteristik tanah. Gelombang Rayleigh yang merupakan salah satu jenis dari gelombang permukaan, sangat berpotensi untuk digunakan dalam metode penyelidikan geofisika yang memanfaatkan dan mengukur perambatan gelombang. Karena dari suatu percobaan diketahui bahwa gelombang Rayleigh memiliki energi perambatan sebesar 67% dari seluruh energi yang dihasilkan dari suatu sumber getar harmonik (Miller dan Pursey, 1955; Woods, 1968). Dan gerakan partikelnya yang tegak lurus dengan arah perambatan gelombang dapat mengukur sifat

geser dari rangka tanah. Hubungan antara kecepatan gelombang geser (V_s) dan gelombang Rayleigh (V_R) ini telah diteliti oleh beberapa peneliti. Dari hasil penelitian itu dapat diketahui bahwa perbedaan antara keduanya sangatlah kecil (Richart et al., 1970; Viktorov, 1967).

Selain itu, gelombang Rayleigh mempunyai sifat menyebar (dispersi) yang mana dapat memberikan informasi yang penting tentang sifat-sifat mekanis dan dinamis tanah. Dari sifat penyebaran geometrinya, gelombang Rayleigh akan memberikan kecepatan gelombang geser yang berbeda untuk frekuensi (f) yang berbeda, dimana frekuensi (f) atau panjang gelombang (λ) mewakili kedalaman suatu lapisan tanah. Sehingga dalam medium yang homogen, panjang gelombang yang berbeda akan mewakili kedalaman lapisan tanah yang berbeda juga, tetapi kecepatan gelombang gesernya akan tetap sama. Sedangkan untuk sifat penyebaran intrinsik yang dipengaruhi oleh jenis material, sifat perambatan gelombang Rayleigh akan sangat bergantung kepada geometri dari lapisan tanah. Sifat-sifat dari perambatan gelombang Rayleigh ditunjukkan dalam kurva dispersi yang menggambarkan kecepatan fasa terhadap frekuensi (Rix, 1988).

Kemudian untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser dari kurva dispersi, suatu proses inversi perlu dilakukan. Metode matrik rambatan merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengkaji dan menganalisis sifat penyebaran (dispersi) gelombang Rayleigh dalam suatu lapisan elastik setengah ruang (Haskell dan Thomson, 1950; Kausel dan Roesset, 1981; Knopoff dan Schwab, 1972). Metode dan model matrik yang dikembangkan oleh Knopoff dan Schwab (1972), mempunyai beberapa kelebihan yaitu metode ini dapat mengontrol ketepatan dengan lebih baik dan kecepatan perhitungan yang lebih cepat dari metode matrik Haskell-Thompson.

HIPOTESIS

Metode *MASW* dapat dijadikan sebagai alternatif pilihan pengujian yang efektif dan murah untuk mendapatkan profil tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser (V_s) secara langsung di lapangan.

METODOLOGI

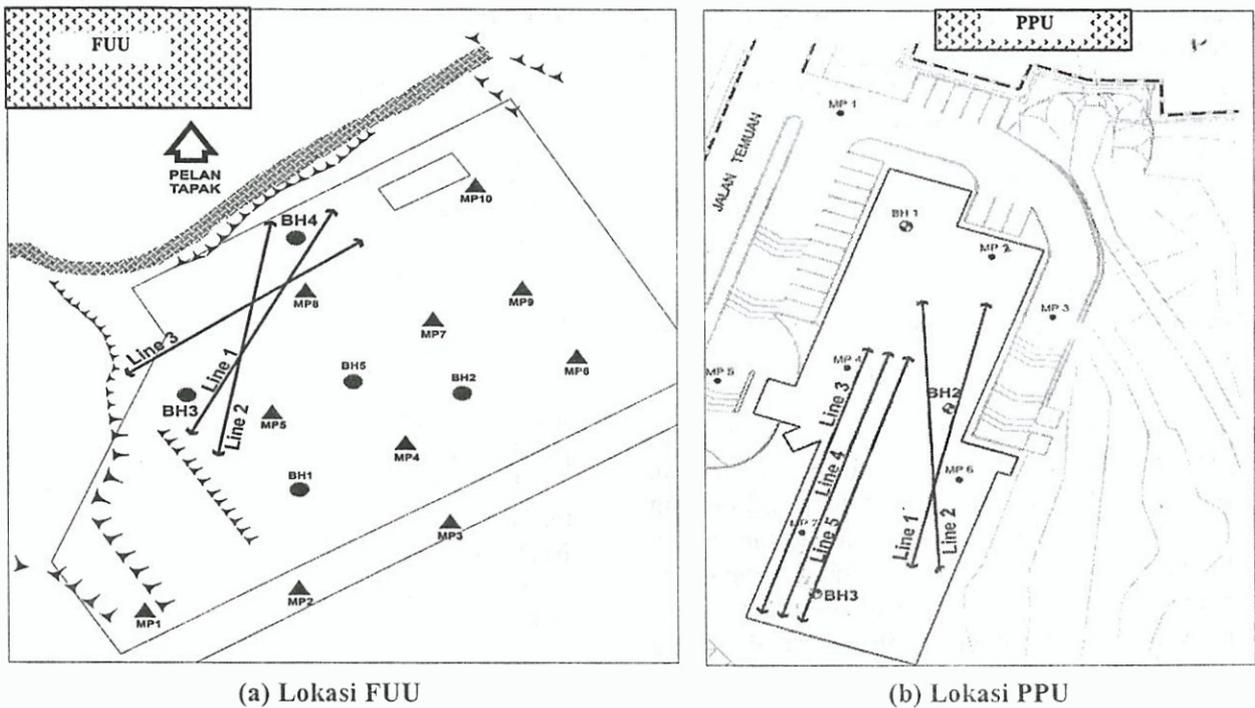
Penyelidikan Tanah

Beberapa pengujian lapangan konvensional telah dilakukan pada daerah kajian untuk mendapatkan profil tanah dan nilai kekuatan tanah. Pengujian-pengujian ini telah dilakukan sebelumnya pada tahap kegiatan penyelidikan tanah. Pemboran teknik yang disertai dengan pengujian penetrasi standar (SPT) dilakukan pada beberapa titik-titik penyelidikan disekitar daerah kajian. Adapun lokasi dari titik-titik pemboran tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada lokasi pertama, yaitu lokasi FUU, terdapat lima titik pemboran (BH1, BH2, BH3, BH4 dan BH5) sedangkan pada lokasi kedua, lokasi PPU, terdapat tiga titik pemboran (BH1, BH2 dan BH3). Pemboran dilakukan dengan menggunakan mesin bor putar (*multi-speed Rotary Wash Boring Machine*) dan casing berukuran NW dan BW untuk melindungi lubang bor dari runtuhnya tanah. Untuk ketentuan kedalaman dari pemboran adalah maksimal 45 m atau jika nilai N dari pengujian penetrasi standar (SPT) secara tujuh kali berturut-turut telah mencapai nilai lebih besar daripada 50 ($N > 50/300\text{mm}$).

SPT dilakukan dengan mengacu kepada British Standard 1377-9:1990. Penentuan nilai resistansi penetrasi tanah ini menggunakan *split-barrel sampler* dan palu dengan berat 63,5+0,5 kg. Pengujian dilakukan dengan interval kedalaman 1 m untuk kedalaman hingga 6 m, kemudian selanjutnya dengan interval kedalaman 1,5 m atau jika terdapat perubahan lapisan tanah.

Hasil pengujian SPT dari titik-titik penyelidikan yang terletak berdekatan dengan lintasan survei metode *MASW* kemudian digunakan untuk menghitung dan mendapatkan nilai kecepatan geser tanah. Hal ini dilakukan dengan menggunakan korelasi empiris yang telah ada dari beberapa peneliti terdahulu. Korelasi-korelasi empiris ini telah diteliti dan dikembangkan oleh peneliti-peneliti seperti Imai dan Tonouchi (1982), Seed dan Idriss (1981), Lee (1990), Athanasopoulos (1995), Hasancebi dan Ulusay (2006) dan Dikmen (2009).



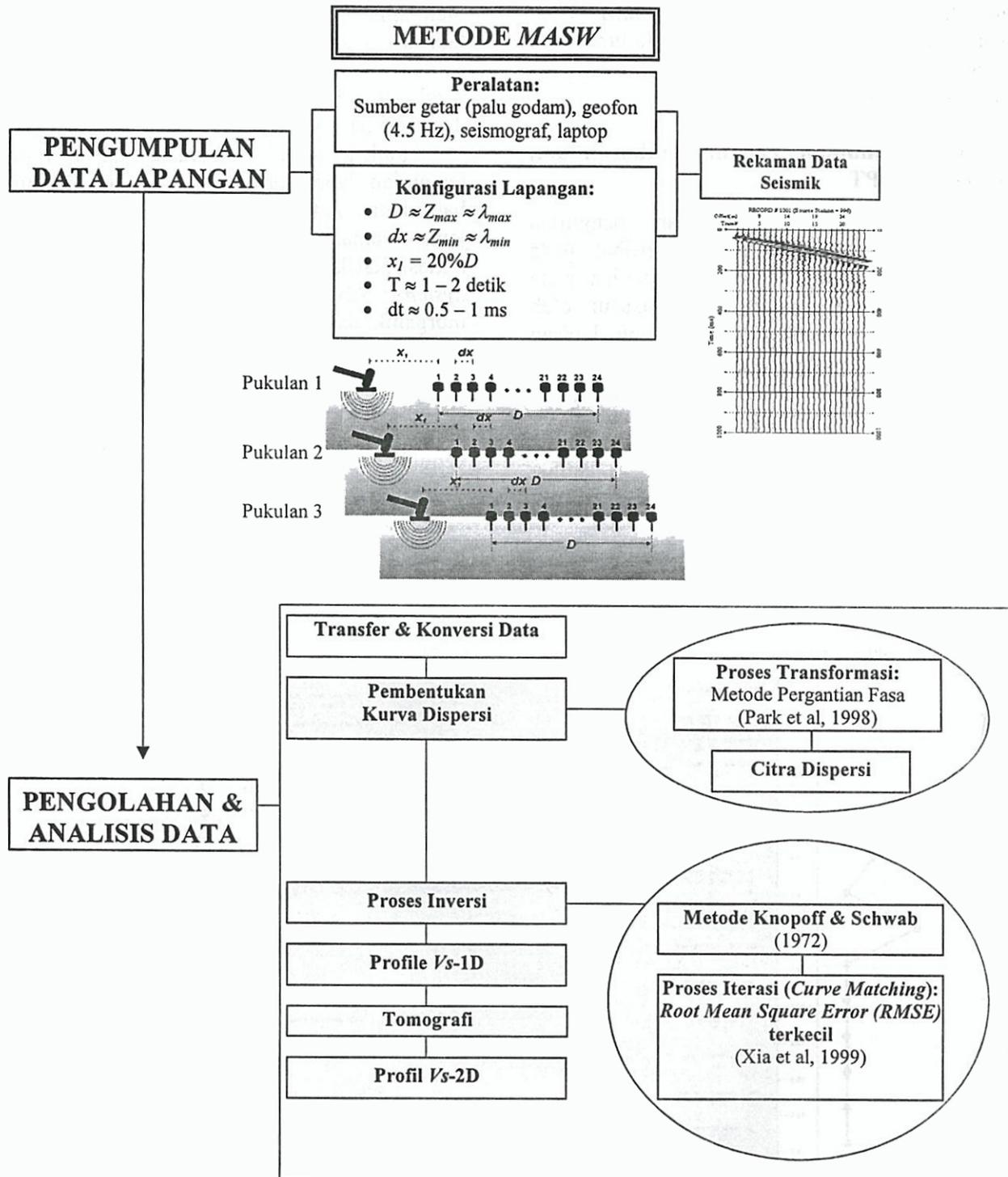
Gambar 1. Peta Lokasi Pengukuran Metode *MASW* pada Daerah Kajian UKM, Malaysia

Metode *MASW*

Pelaksanaan metode *MASW* ini kemudian dilakukan pada beberapa lintasan survei yang telah ditentukan, seperti terlihat pada Gambar 1, untuk mengukur kecepatan gelombang geser secara langsung di lapangan. Perambatan gelombang permukaan direkam oleh sebuah seismograf (*Seistronix RAS 24*) yang dihubungkan pada 24 geofon yang mempunyai frekuensi 4.5 Hz. Dan sebuah palu besi besar (palu godam) dengan berat 16 pon (± 7.3 kg) digunakan sebagai sumber getar untuk menghasilkan gelombang. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penyelidikan, suatu konfigurasi lapangan harus ditentukan dengan sebaik-baiknya. Beberapa parameter dalam konfigurasi lapangan yang harus dipertimbangkan dengan seksama adalah panjang total bentangan geofon, jarak sumber dengan geofon pertama (x_1), spasi antara geofon (dx) dan lama waktu perekaman (T). Penumadu dan Park (2005) telah menguraikan dan memberikan batasan kisaran secara umum yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan parameter-parameter tersebut. Total bentangan geofon menentukan kedalaman maksimum penyelidikan, sedangkan spasi geofon (dx) menentukan kedalaman minimum penyelidikan yang dapat diukur.

Dalam kajian ini telah dipilih spasi geofon (dx) yaitu 1 m dan 2 m, dengan jarak sumber getar ke geofon pertama (x_1) berturut-turut adalah 5 m dan 10 m. Untuk masa perekaman dipilih $T=1000$ milidetik agar hasil data seismik pada daerah penyelidikan dengan material tanah lunak hingga keras diperoleh dengan baik. Selanjutnya, dilakukan beberapa kali perpindahan pukulan dan konfigurasi sumber getar dan geofon sepanjang lintasan yang sama sehingga didapatkan beberapa rekaman data seismik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Setelah semua data seismik dari pengukuran di lapangan diperoleh, data-data tersebut kemudian diproses dan dianalisis, dimana dalam kajian ini telah digunakan piranti lunak yaitu *SurfSeis* versi 2.01 (Kansas Geological Survey, 2008). Terdapat dua langkah utama dalam tahap pemrosesan data-data seismik ini. Langkah pertama adalah penentuan dan pembentukan kurva dispersi, sedangkan langkah kedua adalah proses inversi yang pada akhirnya nanti akan menghasilkan profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman. Pada Gambar 2, prosedur lapangan dan pemrosesan data dari metode *MASW* dapat dilihat dan dijelaskan dengan singkat.



Gambar 2. Prosedur Metode MASW

HASIL DAN ANALISIS

Kondisi Geologi Daerah Kajian

Jika dilihat dari kondisi geologinya, daerah kajian termasuk ke dalam Formasi Bukit Kenny, yang pada umumnya tersusun atas batuan metasedimen dari perselingan batupasir

dengan serpih yang mengalami proses metamorfosa berderajat rendah. Proses metamorfosa yang terjadi pada serpih menghasilkan batuan metamorf berjenis filit. Formasi ini berumur Silur Atas – Devon. Secara geografis, kondisi daerah penelitian terletak pada daerah beriklim tropik dimana proses pelapukan merupakan suatu proses yang

terjadi dan berlangsung dengan aktif. Oleh karena itu, batuan di daerah ini pada umumnya telah mengalami pelapukan dan berubah menjadi tanah.

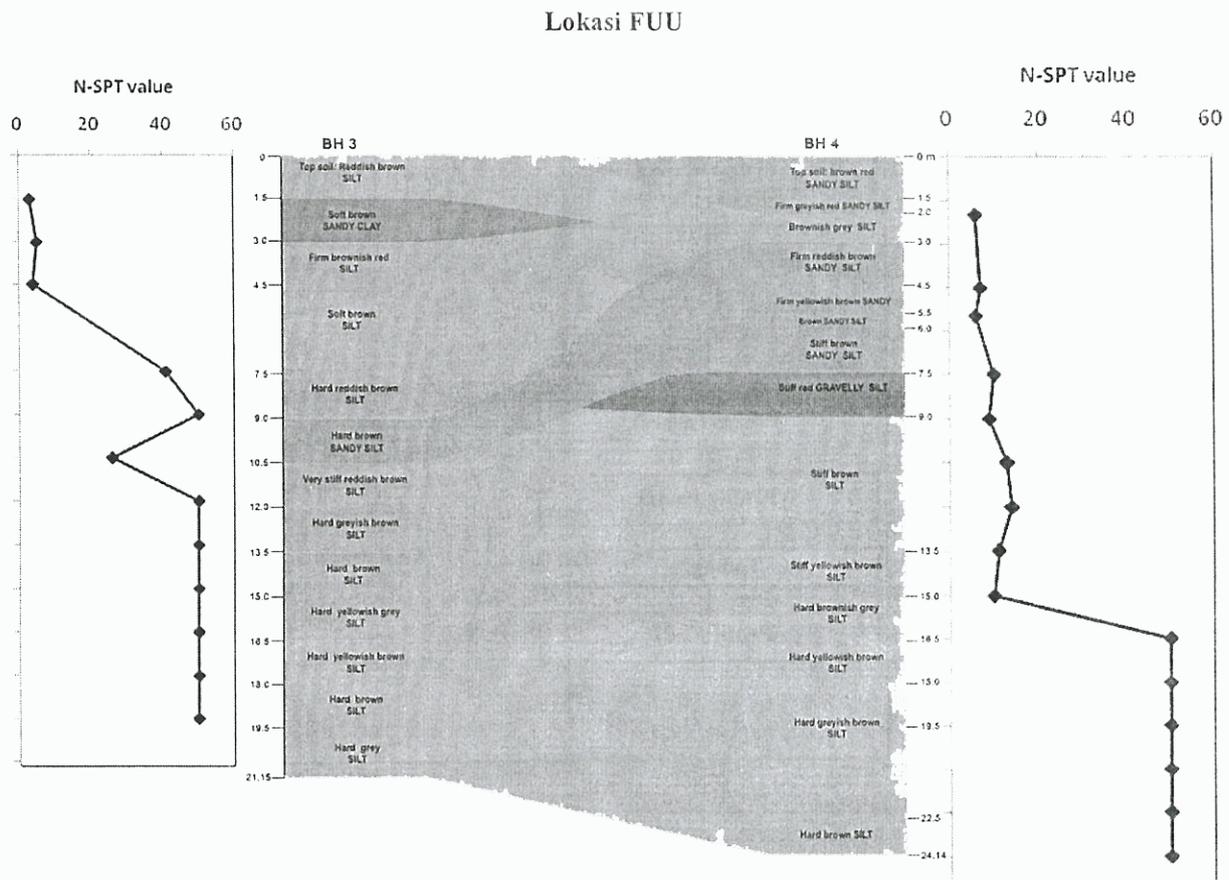
Hasil Penyelidikan Tanah, Pemboran dan Pengujian SPT

Dari hasil pemboran dan pengujian penetrasi tanah (SPT) seperti terlihat pada Gambar 3, secara umum daerah kajian pada lokasi pertama (FUU) dominan disusun oleh lapisan lanau dengan diselingi oleh lapisan lanau pasiran, lanau kerikilan dan lempung pasiran. Berdasarkan nilai N, nilai maksimum yaitu $N=50$, terdapat pada kedalaman sekitar 12 m pada BH3 dan sekitar 16 m pada BH4.

Pada lokasi kedua (PPU) seperti terlihat pada Gambar 4, daerah ini dominan tersusun

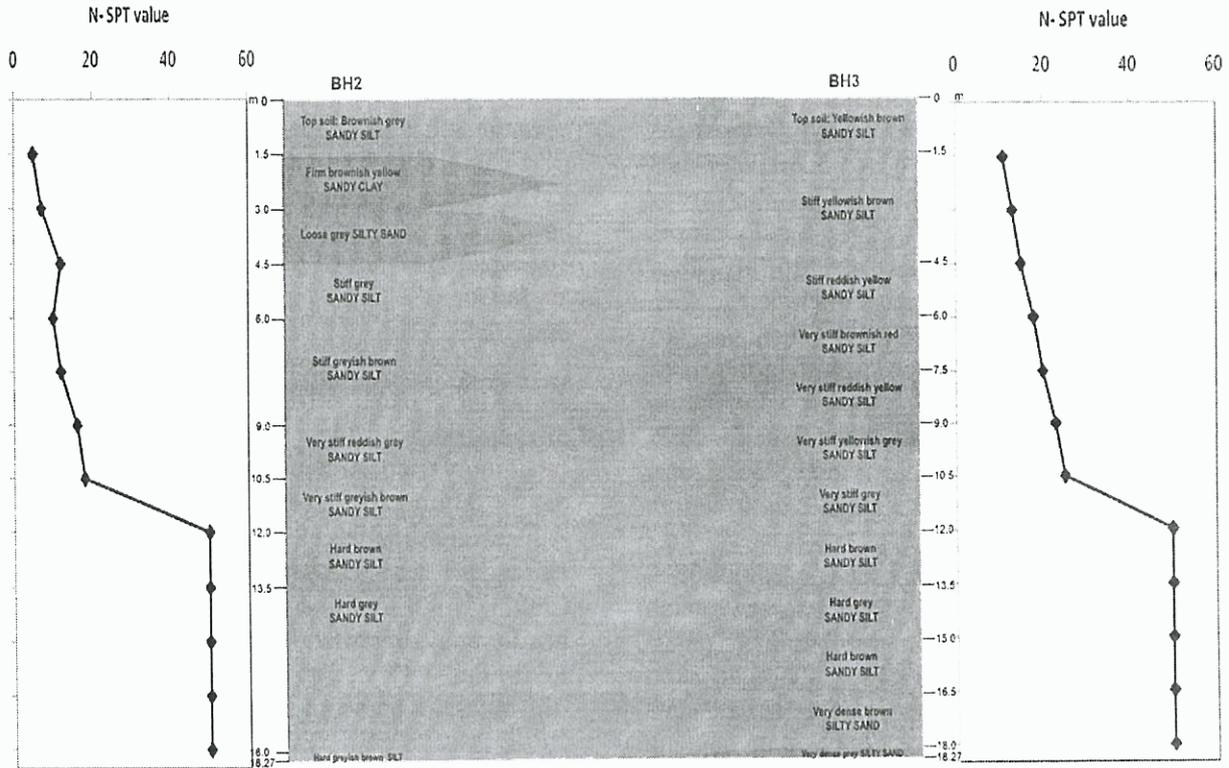
oleh lapisan lanau pasiran dimana juga terdapat lapisan-lapisan tipis lempung pasiran dan pasir lanauan pada lapisan bagian atas (BH2) dengan ketebalan sekitar 1 m. Dan nilai N maksimum dijumpai pada kedalaman sekitar 12 m.

Untuk lokasi FUU, berdasarkan pada hasil pengujian laboratorium yaitu hasil pengujian batas-batas Atterberg, dapat diketahui bahwa jenis tanah pada lokasi ini dapat diklasifikasikan (*Unified Soils Classification Systems: ASTM D4287*) sebagai tanah lanau inorganik dan pasir sangat halus, pasir halus lanauan atau lempungan atau lanau berplastisitas rendah (ML), seperti terlihat pada Gambar 5. Sedangkan untuk lokasi PPU, karena keterbatasan jumlah contoh tanah, maka pengujian tersebut tidak dapat dilakukan.

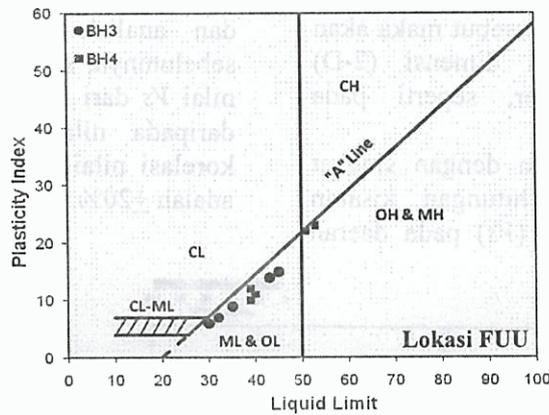


Gambar 3. Profil penampang tanah daerah kajian dari hasil pemboran dan nilai N-SPT

Lokasi PPU



Gambar 4. Profil Penampang Tanah Daerah Kajian dari Hasil Pemboran dan Nilai N-SPT (lanjutan)



Gambar 5. Klasifikasi jenis tanah daerah kajian

Hasil Pengukuran MASW

Rekaman data seismik dalam domain waktu yang telah diperoleh kemudian ditransformasi ke dalam domain frekuensi dimana kecepatan fasa dari setiap frekuensi dan amplitudanya digambarkan. Dari hasil transformasi ini semua jenis gelombang seperti mode dasar, mode tinggi, gelombang tekan dan gangguan dapat digambarkan dan diidentifikasi dengan lebih jelas. Oleh karena itu, proses

penentuan dan pembentukan kurva dispersi dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Pada Gambar 6, dapat dilihat salah satu contoh dari kurva dispersi dan profil satu dimensi (1-D) juga dua dimensi (2-D) kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari hasil pengukuran metode MASW pada lokasi kajian. Gambar 6a, memperlihatkan kurva dispersi yang terbentuk dari mode dasar pada kisaran frekuensi 9.5 – 113 Hz dengan kisaran kecepatan fasa antara 191 – 511 m/detik.

Panjang gelombang maksimum pada frekuensi terendah yang diperoleh adalah sekitar 54 m. Berdasarkan hal ini, maka kedalaman penyelidikan yang dapat diukur adalah sekitar setengah dari panjang gelombang atau sekitar 27 m. Kemudian, suatu profil satu dimensi (1-D) kecepatan gelombang geser dihasilkan dari proses inversi (Gambar 6b).

Tingkat keakuratan dari hasil proses inversi dinilai dan dievaluasi melalui nilai *Root Mean Square Error* atau biasa disingkat *RMSE*. Semakin kecil nilai *RMSE* yang dihasilkan dari proses iterasi (*curve matching*) dalam proses inversi, berarti bahwa profil kecepatan gelombang geser yang dihasilkan semakin baik. Secara keseluruhan, nilai rata-rata *RMSE* dari kecepatan gelombang geser pada daerah kajian adalah sekitar 6.07 m/detik.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, bahwa dalam satu lintasan survei telah dilakukan beberapa kali perpindahan posisi pukulan beserta konfigurasi sehingga akan diperoleh lebih dari satu unit rekaman data seismik. Setiap satu unit rekaman data seismik akan menghasilkan satu profil (1-D) kecepatan gelombang geser tanah. Selanjutnya dengan melakukan korelasi dari beberapa profil (1-D) kecepatan gelombang geser tersebut maka akan dihasilkan satu profil dua dimensi (2-D) kecepatan gelombang geser, seperti pada Gambar 7.

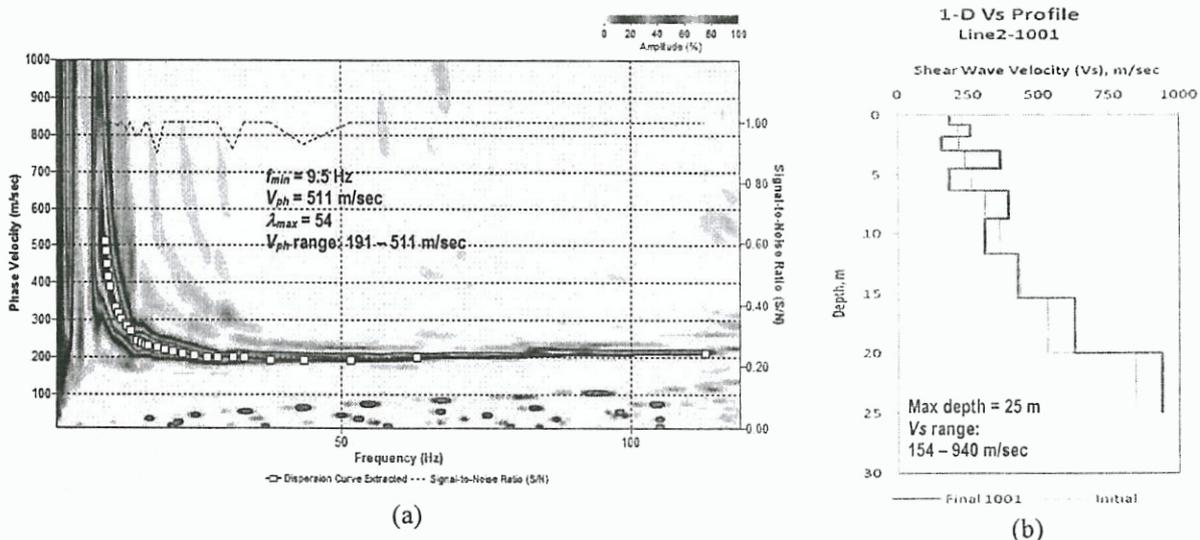
Pada Tabel 1, diuraikan dengan singkat hasil pengukuran dan perhitungan kisaran kecepatan gelombang geser (V_s) pada daerah

kajian yang diperoleh dari metode *MASW* dan dari hasil korelasi dengan nilai N-SPT.

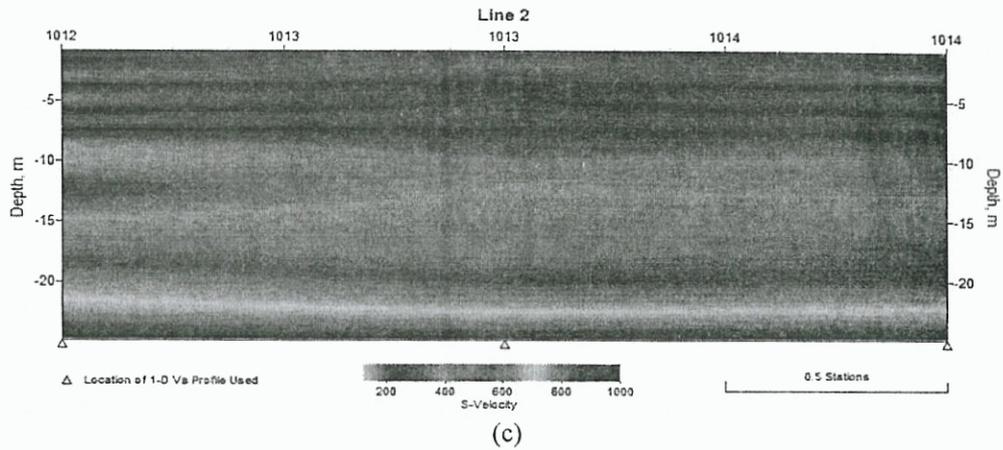
Nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yang dihasilkan dari metode *MASW* dan nilai N-SPT pada setiap kedalaman, digambarkan bersama-sama pada Gambar 8 dan Gambar 9. Dari gambar ini terlihat bahwa baik nilai N dan V_s secara umum meningkat dengan bertambahnya kedalaman. Kemudian untuk memverifikasi hasil dari metode *MASW* ini, dilakukan perbandingan dengan nilai V_s yang diperoleh melalui hasil korelasi empiris. Korelasi-korelasi empiris yang digunakan diuraikan pada Tabel 2, yang telah dikemukakan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti Seed dan Idriss (1981), Imai dan Tonouchi (1982), Lee (1990), Athanasopoulos (1995), Nayan (1995), Hasancebi dan Ulusay (2006), dan Dikmen (2008). Untuk melihat seberapa jauh perbedaan hasil yang diperoleh dari kedua metode ini, nilai-nilai V_s dari kedua metode ini digambarkan bersama-sama pada Gambar 10.

PEMBAHASAN

Berdasarkan dari hasil-hasil pengukuran dan analisis seperti yang telah diuraikan sebelumnya, secara umum dapat dilihat bahwa nilai V_s dari metode *MASW* relatif lebih besar daripada nilai V_s yang diperoleh melalui korelasi nilai N-SPT, dengan nilai deviasinya adalah $\pm 20\%$.



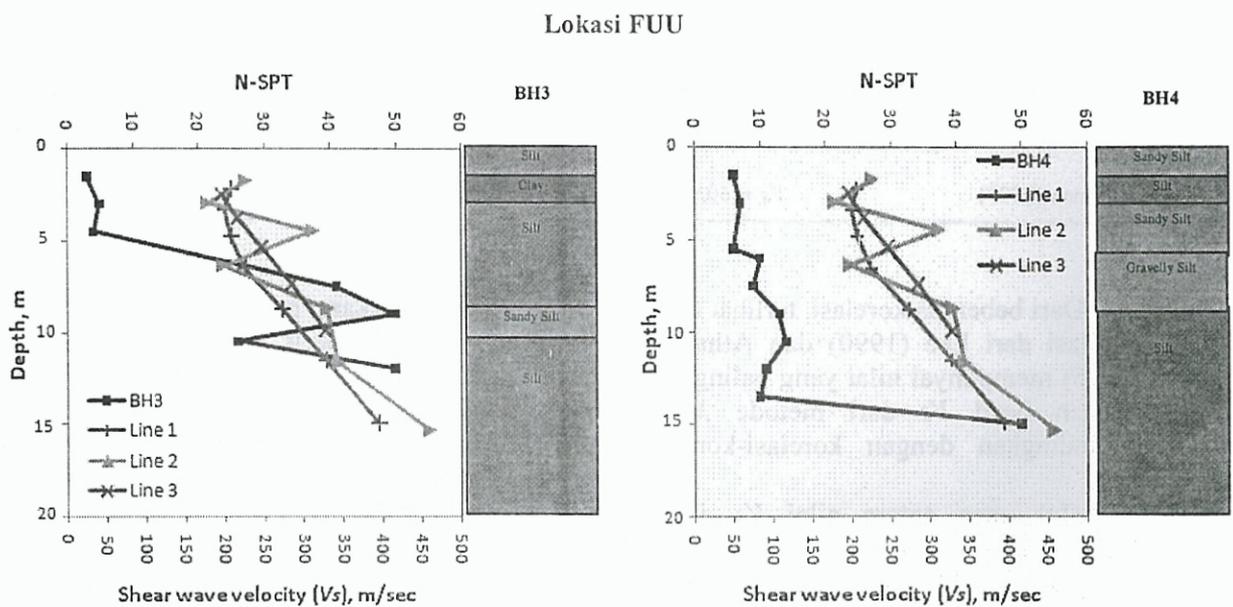
Gambar 6. (a) Kurva Dispersi Hasil Proses Transformasi dari Rekaman Data Seismik, (b) Profil Satu Dimensi V_s



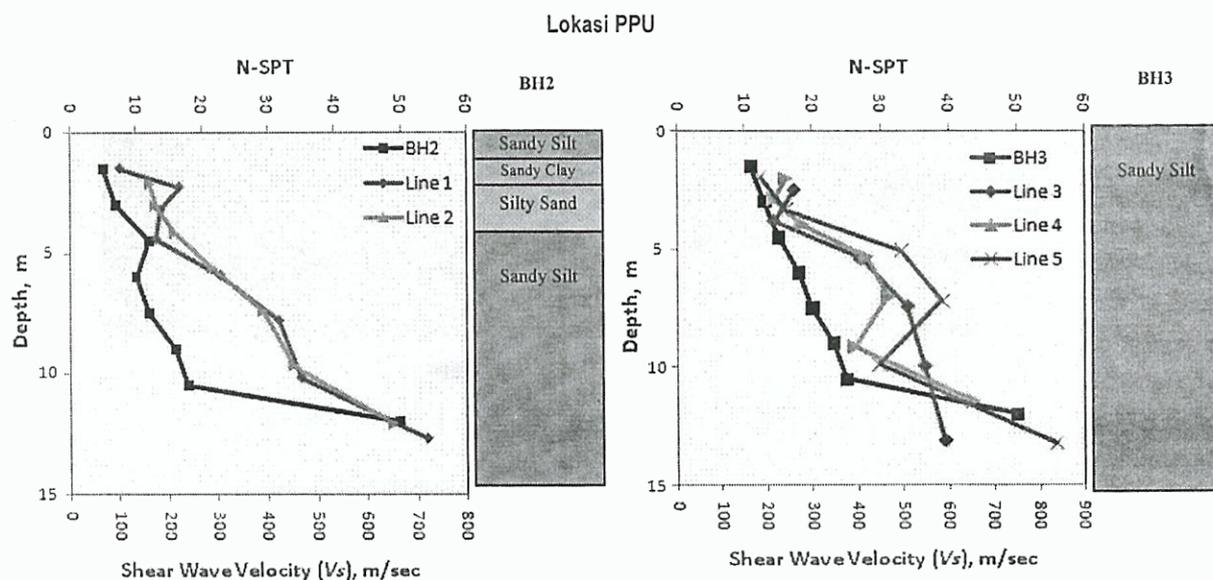
Gambar 7. Hasil Akhir Profil Dua Dimensi V_s (Lintasan 2, Lokasi PPU)

Tabel 1. Kisaran nilai V_s dari metode MASW dan Korelasi nilai N-SPT

Lokasi/ Lintasan	Kedalaman	Kisaran V_s (MASW)	Kisaran V_s (Korelasi N-SPT)
FUU			
Lintasan 1	0 – 18.7	198.63-680.19	89.11-439.99
Lintasan 2	0 – 24.9	153.97-943.07	
Lintasan 3	0 – 21.2	196.34-804.91	
PPU			
Lintasan 1	0 – 11.6	106.17-521.08	
Lintasan 2	0 – 12.1	92.62-715.60	107.10-439.99
Lintasan 3	0 – 21.3	123.78-1340.3	
Lintasan 4	0 – 11.5	196.05-705.69	142.25-439.99
Lintasan 5	0 – 17.4	108.71-902.54	



Gambar 8. Nilai V_s dan N terhadap Kedalaman dari Daerah Kajian



Gambar 9. Nilai V_s dan N terhadap Kedalaman dari Daerah Kajian (lanjutan)

Tabel 2. Korelasi-korelasi Empiris Nilai V_s dan N-SPT

Peneliti	Korelasi V_s (m/detik)	Koefisien Korelasi	Jenis Tanah	Lokasi
Seed & Idriss (1981)	$V_s = 61.4 N^{0.5}$		Semua jenis tanah	USA
Imai & Tonouchi (1982)	$V_s = 97 N^{0.314}$	$r = 0.868$	Semua jenis tanah	Japan
Lee (1990)	$V_s = 105.64 N^{0.32}$		Lanau	
Athanasopoulos (1995)	$V_s = 107.6 N^{0.36}$	$r = 0.73$	Semua jenis tanah	Greece
Nayan (1995)	$V_s = 2.89N + 167.84$	$r = 0.88$	Semua jenis tanah	Malaysia
Hasancebi & Ulusay (2006)	$V_s = 90N^{0.309}$	$r = 0.73$	Semua jenis tanah	Turkey
Dikmen (2009)	$V_s = 60N^{0.36}$	$r = 0.71$	Lanau	Turkey

Dari beberapa korelasi, terlihat bahwa hasil korelasi dari Lee (1990) dan Athanasopoulos (1995) mempunyai nilai yang paling mendekati dengan hasil V_s dari metode *MASW* jika dibandingkan dengan korelasi-korelasi yang lain.

Hubungan antara nilai V_s dari metode *MASW* dan dari korelasi nilai N , dapat dilihat pada Gambar 11. Nilai V_s dari metode *MASW* digambarkan pada sumbu y sebagai nilai $V_{s_{terukur}}$ dan nilai V_s dari korelasi N

digambarkan pada sumbu x sebagai nilai $V_{s_{korelasi}}$. Garis 1:1 melukiskan suatu garis korelasi yang ideal antara nilai $V_{s_{terukur}}$ dan $V_{s_{korelasi}}$. dan dari kedua daerah kajian, terlihat bahwa nilai V_s tersebar dalam kemiringan garis antara 1:5 dan 1:0.5. Pada lokasi FUU, nilai-nilai V_s yang mendekati dengan garis korelasi ideal adalah yang mempunyai nilai kecepatan sekitar 200 m/detik dan 350 m/detik, sedangkan pada lokasi PPU yaitu pada nilai kecepatan antara 150 m/detik sampai 250 m/detik.

Tersebar nya nilai V_s dari metode *MASW* pada lokasi PPU, kemungkinan disebabkan oleh adanya variasi dan perubahan kecepatan gelombang geser secara lateral karena posisi titik pemboran BH3 yang berada agak jauh dari lokasi profil V_s dari metode *MASW*. Sehingga hasil nilai V_s dari korelasi N-SPT menjadi sangat bervariasi.

KESIMPULAN

Profil kecepatan gelombang geser (V_s) dapat ditentukan dan dihasilkan dengan lebih sederhana, efisien dan cepat dengan menggunakan metode *MASW*. Metode ini selain murah dan ekonomis juga bersifat tidak merusak dan ramah lingkungan. Pada kajian ini, kecepatan gelombang geser (V_s) dari metode *MASW* dan dari hasil korelasi empiris nilai N-SPT, secara keseluruhan mempunyai deviasi rata-rata sekitar 20%. Adanya variasi dan perubahan lateral lapisan tanah daerah kajian pada beberapa lokasi titik penyelidikan merupakan faktor yang dapat mempengaruhi nilai deviasi ini. Selain itu lokasi dan kondisi daerah kajian yang berbeda baik secara geografis dan geologi dengan lokasi kajian oleh peneliti-peneliti terdahulu juga dapat menjadi faktor yang menyebabkan perbedaan ini.

Metode *MASW* ini merupakan metode pendugaan profil tanah berdasarkan gelombang geser (V_s) menggunakan gelombang permukaan, sehingga tidak dapat berdiri sendiri tanpa adanya pengujian penetrasi standar. Meski demikian untuk kondisi tanah dengan perlapisan yang tidak kompleks, metode ini dapat dijadikan sebagai salah satu metode non-destruktif alternatif pilihan yang efektif dan murah untuk mendapatkan profil tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser (V_s) secara langsung di lapangan.

SARAN

Nilai gelombang geser tanah dari korelasi-korelasi empirik yang ada memperlihatkan nilai yang berbeda dan bervariasi. Oleh karena itu penggunaan nilai kecepatan gelombang geser dari korelasi empirik sebaiknya divalidasi dengan hasil pengukuran kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari pengujian *in situ*.

Studi lanjutan tentang hubungan antara kecepatan gelombang geser dan nilai N-SPT pada lokasi yang berdekatan dan dengan kondisi tanah (geologi) yang sama perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Athanasopoulos, GA. 1995. *Empirical Correlations V_s -NSPT for Soils of Greece: A Comparative Study of Reliability*. Proc.7th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (Chania Crete) ed AS Cakmak (Southampton: Computational Mechanics): pp19–36.
- Dikmen, U. 2008. *Statistical Correlations of Shear Wave Velocity and Penetration Resistance Soils*. J. Geophys. Eng. 6 : 61–72.
- Hasancebi, N., and Ulusay, R. 2006. *Empirical Correlations between Shear Wave Velocity and Penetration Resistance for Ground Shaking Assessments*. Bull. Eng. Geol. Environ, 66 203–13.
- Imai, T., Tonouchi, K. 1982. *Correlation of N-value with S-wave velocity and Shear Modulus*. Proc. 2nd European Symp. of Penetration Testing, Amsterdam: pp57–72.
- Lee, SH. 1990. *Regression Models of Shear Wave Velocities*. J.Chin. Inst.Eng. 13519–32.
- Miller, G.F. and Pursey, H. 1955. *On the Partition of Energy between Elastic Waves in a Semi-Infinite Solid*. Proceedings of the Royal Society, Series A, Vol. 233: 521-541.
- Nayan, K.A.M. 1995. *Pencirian Tanah Baki Granit Menggunakan Kaedah Pengukuran Halaju P dan S*. Tesis Sarjana Sains, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Nazarian, S., and Stokoe II, K.H. 1984. *In situ Shear Wave Velocities from Spectral Analysis of Surface Wave*. Proceeding of the World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 8, San Fransisco, Calif., July 21-28.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J. 1999. *Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW)*. Geophysics, v. 64, no. 3, p. 800-808.
- Penumadu, D., and C.B. Park. 2005. *Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) Method for Geotechnical Site Characterization*. Proceedings of the Geo-Frontiers Conference, Austin, Texas, January 23-26.
- Schwab, F.A. and Knopoff, L. 1972. *Fast Surface Wave and Free Mode Comutation. Methods in Computational Physicx*, Academic Press, New York, Vol. 11: 87-180.

Seed, H.B., and Idriss, I.M. 1981. *Evaluation of Liquefaction Potential Sand Deposits based on Observation of Performance in Previous Earthquakes*. ASCE National Convention (MO), pp81–544.

Thomson, W.T. 1950. *Trasnmission of Elastic Waves through a Stratified Solid Medium*. Journal of Applied Physics, Vol. 21: 89-93.

Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B. 1999. *Estimation of Near-Surface Shear-Wave Velocity by Inversion of Rayleigh Waves*. Geophysics, v. 64, no. 3: p. 691-700.