Korelasi Antara Nilai SPT-N dan Kecepatan Gelombang Geser (*Shear Wave Velocity*) Dalam Bidang *Engineering*

Sabrian Tri Anda¹, Rosli Saad², Mokhtar Saidin³, Zul Fadhli⁴, Muhammad Syukri⁴

¹Fakultas Komputer dan Multimedia, Universitas Islam Kebangsaan Indonesia, Indonesia

²Geophysics Section, School of Physics, Universiti Sains Malaysia, Malaysia

³Centre for Global Archeological Research, Universiti Sains Malaysia, Malaysia

⁴Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

⁵Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

*Co-Author: zulfadhli@unsyiah.ac.id

ABSTRACT

Geophysical method has been increasingly used in engineering especially in geotechnical investigation. This method provides a large data coverage, time effectiveness, non-invasive and less cost compared to traditional borehole test. This research will aim at the correlation of engineering parameter, standard penetration blow count test (SPT-N) with shear wave velocity in determining the strength of soil. The study area was located into two different area and geological setting. First study area was conducted at Sungai Batu, Kedah, Malaysia while the second study area was located at complex Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia. The results indicate that the SPT-N values are linearly related to the shear wave velocities for both study area. The relationships are being described with coefficient of determination.

Keywords: *Correlation, Seismic refraction, SPT-N, Shear wave velocities*

ABSTRAK

Metode geofisika telah digunakan secara luas dalam ranah keteknikan terutama dalam bidang investigasi terkait geoteknik. Metode geofisika dianggap mampu untuk menyajikan cakupan ruang lingkup pengukuran yang luas, dengan waktu pengukuran yang lebih efektif, *non-invasive*, dengan biaya yang tidak terlalu mahal jika dibandingkan dengan metode pengukuran secara tradisional yaitu menggunakan lubang bor untuk pengujian. Penelitian ini bertujuan untuk melihat hubungan antara parameter teknik seperti *standard penetration blow count test* (SPT-N) dan kecepatan rambat gelombang geser (*shear wave velocity*) dalam menentukan tingkat kekuatan tanah. Penelitian ini dilakukan di dua area terpisah dengan kondisi geologi yang berbeda pula. Studi area pertama terletak di Sungai Batu, Kedah, Malaysia dan area kedua terletak di kompleks Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa keterkaitan antara nilai SPT-N dan kecepatan rambat gelombang S (geser) adalah sangat erat untuk kedua studi area. Hubungan keterkaitan ini dijabarkan berdasarkan nilai koefisien determinasi.

Kata Kunci: Korelasi, Seismik Refraksi, SPT-N, *Shear Wave Velocity*

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, penerapan metode geofisika dalam ranah ilmu keteknikan dan lingkungan telah banyak digunakan. Hal ini ditandai dengan meningkatnya penggunaan metode geofisika sebagai alternatif dalam upaya untuk menentukan parameter geoteknik. Hal ini disebabkan oleh pengukuran menggunakan metode geofisika mampu mencakup luasan area penelitian yang besar, *non-invasive*, serta biaya pengukuran yang tergolong murah jika dibandingkan dengan metode geoteknik seperti metode *boring* (SPT-N, CPT, dsb) [1]. Kendati demikian, alternatif sebagai pengganti tidak dapat diartikan bahwa metode geofisika itu sendiri dapat menggantikan metode tradisional geoteknik sepenuhnya dalam menentukan parameter geoteknik sebuah area. Secara umum, dalam upaya pengklasifikasian tanah, terdapat beberapa metode pengukuran yang dapat digunakan yaitu: *soil blow counts*, *unconfined compressive strength*, dan *shear wave velocity* (kecepatan gelombang geser). Berdasarkan metode-metode tersebut, pengukuran kecepatan gelombang geser merupakan metode pengukuran yang tergolong paling mudah untuk dilakukan dalam kaitannya untuk menentukan karakteristik tanah dikarenakan metode tersebut tergolong *non-invasive*, dan lebih murah jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan lubang bor, khususnya untuk area-area tertentu seperti daerah perkotaan dan situs-situs arkeologi [2]. Beberapa jenis pengukuran kecepatan gelombang geser diantaranya adalah: *downhole tests*, *cross-hole tests*, *suspension logging*, dan seismik refraksi/refleksi [3]. Pada penelitian ini, pengukuran difokuskan pada

pengimplementasian metode seismik refraksi, dimana hasil pengukuran kecepatan gelombang geser akan dikorelasikan dengan nilai SPT-N untuk melihat hubungan antara kedua parameter tersebut berdasarkan nilai koefisien determinasi

2. STUDI AREA

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi terpisah dengan kondisi geologi yang berbeda pula. Studi area pertama adalah Sungai Batu, Kedah, Malaysia, dimana area ini merupakan situs arkeologi terkenal. Area ini diklasifikasikan sebagai daerah pengendapan sedimen dengan kondisi geomorfologi yang tergolong datar, dikelilingi oleh perkebunan sawit dan karet. Beberapa daerah rawa dan sungai kecil juga ditemukan disekitar kawasan penelitian ini. Berdasarkan kondisi geologi, daerah tersebut berada pada Formasi Mahang dimana daerah tersebut tersusun oleh dua tipe batuan dasar utama yaitu batuan granit dan batuan sedimen. Batuan granit mendominasi kawasan barat kawasan ini sedangkan batuan sedimen mendominasi area lainnya. Proses sedimentasi pada kawasan ini merupakan hasil transportasi dari sungai lokal yaitu Sungai Merbok, dimana sedimen tersebut berasal dari Gunung Jerai sebelum terendapkan pada kawasan ini [4]. Jenis-jenis batuan yang terdapat pada daerah ini meliputi batuan serpih, batu pasir, dan batu lanau, sementara jenis-jenis tanah meliputi lempung berpasir (Gambar 1).

Area penelitian selanjutnya terletak di kompleks Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia, dimana area ini diklasifikasikan sebagai area *granitic*. Penang terletak di bagian utara Semenanjung Malaysia dan dibagi menjadi dua wilayah yang berbeda; pertama adalah Pulau Pinang dan daratan (Seberang Perai). Segmen utama Pulau Penang berada pada formasi batuan beku dan batuan itu sendiri diklasifikasikan sebagai batuan granit [5]. Jenis tanah di daerah penelitian ini diidentifikasi sebagai *residual soil* yang merupakan hasil pelapukan batuan granit itu sendiri (Gambar 2).

Gambar 1. Peta Geologi Sungai Batu [6]

Gambar 2. Peta Geologi Pulau Pinang [5]

3. METODOLOGI

Metode seismik merupakan salah satu metode geofisika yang paling substansial, hal ini disebabkan oleh akurasi dan resolusi pengukuran yang tinggi. Eksplorasi dengan menggunakan metode seismik merupakan bagian dari ilmu seismologi gempa. Secara umum, metode seismik refraksi digunakan secara luas dalam eksplorasi minyak bumi sejak tahun 1920-an. Saat ini, seiring dengan peningkatan metode pengukuran dan peralatan yang digunakan, metode seismik refraksi digantikan oleh metode seismik refleksi untuk kepentingan eksplorasi minyak dan gas. Namun demikian, metode seismik refraksi masih digunakan untuk investigasi bagian bawah permukaan dangkal dalam studi teknik dan lingkungan untuk menemukan batuan dasar untuk konstruksi bangunan, jalan raya dan jembatan [7].

Teknik akusisi seismik refraksi adalah pengukuran waktu yang dibutuhkan oleh gelombang akustik untuk merambat ke bagian bawah permukaan tanah dan dibiaskan ke detektor (*geophone*) yang ditanam di atas permukaan tanah. Hukum *Snell* tentang perambatan gelombang diterapkan dengan menggunakan waktu datang dan jarak *geophone* yang diperoleh dari pengukuran lapangan untuk menghitung informasi bawah permukaan untuk interpretasi [8]. Secara umum, penerapan seismik refraksi untuk studi bawah permukaan tanah di bidang teknik dan lingkungan dilakukan dengan mengklasifikasikan bagian bawah permukaan menjadi 2 – 3 lapisan. Penelitian ini menggunakan teknik refraksi seismik yang menerapkan gelombang geser (gelombang-S) dimana gelombang tersebut memiliki gerakan partikel yang bergerak secara tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.

Gambar 3 menggambarkan pembiasan yang terjadi pada dua lapisan bawah permukaan yang berbeda. Gelombang yang dihasilkan dari sumber merambat dengan kecepatan V_1 pada medium pertama dan mengenai batas antara medium pertama dan kedua. Gelombang dibiaskan dalam sudut kritis θ_{ic} dan merambat dengan kecepatan V_2 . Gelombang yang dibiaskan ini juga disebut *head wave* yang merambat secara paralel melalui batas antara dua media yang berbeda sebelum gelombang dibiaskan kembali ke permukaan tanah dan dideteksi oleh detektor.

Gambar 3. Skema Dasar Perambatan Gelombang Pada Bawah Permukaan [8]

4. AKUSISI DATA

Penelitian ini terdiri dari tiga lintasan pengukuran untuk dua studi area yang berbeda. Dua jalur pengukuran (L1 dan L2) dilakukan di Sungai Batu, Kedah, melintasi lubang bor BH1 dan BH2 dengan panjang total masing-masing 115 m. Lintasan pengukuran L1 melintasi lubang bor BH1 pada jarak 110 m sedangkan lintasan pengukuran L2 melintasi lubang bor BH2 pada jarak 105 m. Sementara itu, lintasan pengukuran selanjutnya, (L3) dilakukan di USM, Pulau Pinang, yang melintasi lubang bor BH3 pada jarak 6 m dengan panjang total lintasan 69 m. Gambar 4 menunjukkan geometri lintasan pengukur dari penelitian ini. Pengukuran seismik refraksi gelombang-S dilakukan dengan menggunakan 24 *geophone* horizontal (6 Hz) sebagai detektor dan ABEM MK8 sebagai seismograf, sedangkan *sledgehammer* 5kg digunakan sebagai sumber seismik. Untuk menghasilkan gelombang-S sebagai gelombang terapan dalam penelitian ini, papan kayu diposisikan berada dibawah kendaraan yang bertindak sebagai pemberat dan papan kayu tersebut dipukul di ujung kedua sisi menggunakan palu godam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Beberapa software digunakan untuk membantu pengolahan data. Perangkat lunak IXRefract digunakan untuk menyaring data lapangan gelombang-S. Perangkat lunak Microsoft Excel dan Surfer 8 digunakan untuk membantu pengambilan waktu tempuh gelombang-S. Akhirnya, perangkat lunak SeisOpt@2D digunakan untuk menghasilkan profil tomografi seismik refraksi sebelum hasilnya diplot dalam perangkat lunak Surfer 8.

Gambar 4. Lintasan Pengukuran; (a) Sungai Batu, Kedah, (b) USM, Pulau Pinang [9]

Gambar 5. Skema pengukuran seismik refraksi gelombang-S. [10]

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seismik refraksi tomografi penampang L1, L2, dan L3 disajikan pada Gambar 6. Untuk daerah Sungai Batu diperoleh kecepatan gelombang-S untuk lintasan pengukuran L1 dengan nilai < 1400 m/s dengan kedalaman penetrasi maksimum hingga 26 m (Gambar 6a), sedangkan lintasan pengukuran L2 didapatkan kecepatan gelombang-S < 1400 m/s dengan kedalaman maksimum 22,6 m (Gambar 6b). Dari hasil pengukuran lintasan L3 (USM, Pulau Pinang), didapatkan kecepatan gelombang-S dengan nilai 100 – 640 m/s dan kedalaman maksimum 31,5 m (Gambar 6c). Korelasi litologi lubang bor dan gelombang geser terapan refraksi seismik disajikan pada Tabel 1.

Gambar 6. Profil Tomografi Seismik Refraksi Gelombang-S; a) L1, b) L2, c), L3

Tabel 1. *Borelog* BH1, BH2, and BH3

BH1				BH2			
Depth	Vs	SPT -N	Soil Description	Depth	Vs	SPT -N	Soil Description
-1.5	297	14	Clay	-1.5	383	10	Clay
-3.0	317	30	Clay	-3.0	398	9	Clay
-4.5	334	16	sandy Clay	-4.5	415	7	Clay
-6.0	348	13	Clay	-6.0	435	11	sandy Clay
-7.5	361	26	sandy Clay	-7.5	457	20	sandy Clay
-9.0	373	34	sandy Clay	-9.0	479	29	sandy Clay
-10.5	388	49	sandy Clay	-10.5	502	32	sandy Clay
-12.0	405	51	Shale, hard layer	-12.0	526	60	Shale, hard layer
				-13.5	552	70	Shale, hard layer

BH3			
Depth	Vs	SPT -N	Soil Description
-1.5	256	6	No Recovery
-3.0	265	9	sandy SILT
-4.5	265	8	SAND
-6.0	267	10	sandy SILT
-7.5	280	9	sandy SILT
-9.0	293	11	sandy SILT
-10.5	301	14	sandy SILT
-12.0	303	16	sandy SILT
-13.5	305	17	sandy SILT
-15.0	309	18	sandy SILT
-16.5	315	15	sandy SILT
-18.0	322	18	silty SAND
-19.5	331	20	sandy SILT
-21.0	341	21	sandy SILT
-22.5	351	18	sandy SILT
-24.0	365	17	sandy SILT
-25.5	387	20	silty SAND
-27.0	422	23	silty/clayey SAND
-28.5	473	20	sandy SILT
-30.0	539	26	silty SAND
-31.5	574	50	silty SAND

Berdasarkan *borelog*, terlihat jelas bahwa daerah Sungai Batu didominasi oleh lempung dan lempung berpasir yang menutupi kawasan tersebut dengan ketebalan < 12 m. dan lapisan berikutnya diklasifikasikan sebagai lapisan keras dan diidentifikasi sebagai batuan serpih. Sementara itu, *log* dari BH3 menunjukkan bahwa klasifikasi tanah USM, Pulau Pinang dibedakan menjadi dua jenis; tanah kohesif dan non kohesif. Tanah kohesif didominasi oleh lanau berpasir sedangkan tanah non-kohesif didominasi oleh pasir berlanau.

Distribusi data kecepatan gelombang-S diekstrak dari profil tomografi seismik refraksi L1, L2, dan L3 untuk menghasilkan hubungan empiris antara SPT-N dan kecepatan gelombang geser. Gambar 7 menunjukkan bahwa semua hasil memberikan *trendline* utama yang sama dalam perubahan kecepatan gelombang geser dan SPT-N sepanjang kedalaman. Meskipun nilai SPT-N menunjukkan pola bergelombang seiring berubahnya kedalaman yang ditinjau, hal tersebut dipengaruhi oleh kompleksitas kondisi bawah permukaan itu sendiri. Sementara itu, peningkatan kecepatan gelombang geser dengan *trend* grafik yang tidak bergelombang ditunjukkan oleh kecepatan gelombang geser dikarenakan hasil refraksi seismik membutuhkan peningkatan kecepatan sepanjang kedalaman sehingga dapat mengurangi kesalahan perhitungan kedalaman.

Gambar 7. Relationship of SPT-N and shear wave velocity of L1, L2, and L3 with depth

Gambar 8 menunjukkan korelasi empiris antara nilai SPT-N dan kecepatan gelombang geser untuk lintasan pengukuran L1, L2, dan L3, dan hubungan tersebut dinyatakan dengan koefisien determinasi. Seperti yang ditunjukkan oleh hasil, peningkatan nilai SPT-N terhadap kedalaman pengukuran ditandai dengan meningkatnya pula kecepatan gelombang geser. Hal ini membuktikan bahwa nilai SPT-N mempunyai hubungan yang linier dengan kecepatan gelombang geser. Untuk L1 dan L2 yang terletak di daerah sedimen dengan klasifikasi tanah lempung dan lempung berpasir, hubungan tersebut tergolong hubungan kuat menurut nilai R^2 masing-masing sebesar 0,64 dan 0,88 untuk L1 dan L2. Rentang hubungan antara dua variabel ditentukan berdasarkan penelitian sebelumnya [11]. Sedangkan untuk area *residual soil* (L3) juga diperoleh hasil yang sama. Korelasi tersebut menunjukkan hubungan yang kuat antara nilai SPT-N dan kecepatan gelombang geser untuk jenis tanah lanau berpasir dan berlanau yang digambarkan oleh R^2 sebesar 0,76.

Gambar 8. SPT-N values as a function of shear wave velocities; L1, L2, and L3.

6. KESIMPULAN

Pengembangan korelasi empiris antara SPT-N dan kecepatan gelombang geser telah dilakukan untuk menghasilkan hubungan antara kedua parameter tersebut. Korelasi ini ditujukan sebagai upaya untuk menentukan nilai kekuatan tanah dengan menggunakan metode *non-invasif* yaitu seismik refraksi gelombang geser. Korelasi yang dihasilkan memberikan proporsional langsung dari nilai SPT-N dan kecepatan gelombang geser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SPT-N dan kecepatan gelombang geser mempunyai hubungan linier yang ditunjukkan oleh nilai R^2 masing-masing sebesar 0,64, 0,88 dan 0,76 untuk L1, L2, dan L3.

7. ACKNOWLEDGEMENT

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada staf geofisika USM dan mahasiswa pascasarjana yang terlibat dalam penelitian ini atas bantuan mereka selama akuisisi data dan terima kasih khusus diucapkan kepada Pusat Penelitian Arkeologi Global (CGAR) dengan akun 1002/PARKEO/910328 untuk mendanai penelitian ini.

8. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stokoe, K. H., & Santamarina, J. C. Seismic-Wave-Based Testing in Geotechnical Engineering. Proceedings of the GeoEng 2000 Conference, (1887), 1490–1596. 2000.
- [2] Williams, R. A., Stephenson, W. J., & Odum, J. K. Comparison of P- and S-wave velocity profiles obtained from surface seismic refraction/reflection and downhole data. Tectonophysics, 368(1–4), 71–88. 2003.
- [3] Yordkayhun, S., Sujitapan, C., & Chalermyanont, T. Joint analysis of shear wave velocity from SH-wave refraction and MASW techniques for SPT-N estimation. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 36(3), 333–344. 2014.
- [4] Allen, S. J. Trade and Site Distribution in Early Historic-Period Kedah: Geoarchaeological, Historic, and Locational Evidence. Indo-Pacific Prehistory Association Bulletin. 1991.
- [5] Mineral and Geoscience Department Malaysia, Geological Map of Peninsular Malaysia [Map]. 8th Ed., 1985.
- [6] Ong, W. S., The geology and engineering geology of Penang Island, geological survey of Malaysia. 1993.
- [7] Burger, H. R., Sheehan, A. F., & Jones, C. H. Introduction to applied geophysics: Exploring the shallow subsurface. WW Norton. 2006.
- [8] Haeni, F. P. Application of seismic-refraction techniques to hydrologic studies YR - 1988. Techniques of Water-Resource Investigation, x, 86: ill., maps ;28. 1988.
- [9] Google Earth. 2016.
- [10] Crice, D. Borehole Shear-wave surveys for engineering site investigations. Geostuff, California, USA. 2002
- [11] Evans, J. D. Straightforward statistics for the behavioral sciences. Brooks/Cole. 1996