

**KARAKTERISTIK GEOTEKNIK STASIUN ACCELEROMETER
TANJUNG PRIOK (JATA) DAN DEPOK (JAUI)**
*GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF STRONG-MOTION ACCELEROGRAPH
STATIONS TANJUNG PRIOK (JATA) AND DEPOK (JAUI)*

Widjojo A. Prakoso¹, Yunus Daud², Surya Aji Pratama²

¹Departemen Teknik Sipil - UI, Kampus UI Depok 16424

²Departemen Fisika - UI, Kampus FMIPA UI Depok 16424

ABSTRAK

Karakteristik geoteknik hingga kedalaman 30 m lokasi accelerometer yang berada di lingkungan Stasiun Meteorologi Maritim Klas I Tanjung Priok, Jakarta (JATA) dan yang berada di lingkungan Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok (JAUI) dibahas dalam makalah ini. Karakteristik geoteknik ditentukan melalui uji fisik berupa uji cone penetrometer, deskripsi visual-manual contoh tanah dari hasil bor dalam, dan uji standard penetration serta melalui uji geofisik berupa uji seismic downhole. Keempat uji tersebut kemudian dievaluasi untuk membuat model dan melakukan analisis karakteristik geoteknik. Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata berbobot stasiun JATA adalah 188,1 m/s dan termasuk dalam jenis "Tanah Sedang", tetapi analisis lebih lanjut perlu dilakukan. Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata berbobot stasiun JAUI adalah 239,8 m/s dan termasuk dalam jenis "Tanah Sedang".

Kata kunci : accelerometer, uji CPT, uji SPT, kecepatan rambat gelombang geser, jenis tanah.

ABSTRACT

Geotechnical characteristics to a depth of 30 m for accelerometer location within Stasiun Meteorologi Maritim Klas I Tanjung Priok, Jakarta (JATA) and for accelerometer location within FMIPA Campus of Universitas Indonesia, Depok (JAUI) are discussed in this paper. Geotechnical characteristics were evaluated based on physical test results of cone penetration tests, visual-manual soil evaluation, standard penetration tests, and geophysical test results of seismic downhole tests. From these four tests, for each location, a geotechnical characteristic model was developed and a geotechnical characteristic analysis was performed. Weighted average of shear-wave velocity of JATA station was found to be 188,1 m/s and can be classified as "Stiff Soil", but it appears that a further characterization study needs to be conducted. Weighted average of shear-wave velocity of JAUI station was found to be 239,8 m/s and can be classified as "Stiff Soil".

Keywords : accelerometer, cone penetration test, standard penetration test, shear-wave velocity, site classification.

Naskah masuk : 2 Agustus 2011

Naskah diterima : 13 September 2011

I. PENDAHULUAN

Pasca gempa bumi dan tsunami Aceh pada tanggal 24 Desember 2004, Pemerintah Republik Indonesia melalui Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) memulai program pembangunan sistem jaringan instrumen pencatat gempa bumi kuat dengan menggunakan perangkat *accelerometer*. Program tersebut akan meliputi pemasangan 500 unit *accelerometer* di seluruh Indonesia hingga tahun 2014; sejak akhir tahun 2005 hingga saat ini telah terpasang sebanyak 216 unit *accelerometer*. Perangkat *accelerometer* dikenal sebagai tulang punggung dalam *earthquake engineering* dan, oleh karena itu, sistem jaringan ini kemudian dikembangkan untuk kebutuhan ini.

Rekaman perangkat *accelerometer* dapat diinterpretasi dengan lebih baik jika karakteristik geoteknik lokasi perangkat diketahui. Hal ini dikarenakan gelombang S dari gempa bumi ketika bertemu dengan batas antara batuan dan tanah di dekat permukaan bumi akan mengalami perubahan karakteristik. Perubahan yang terjadi adalah bergantung pada karakteristik lapisan tanah, khususnya pada kecepatan rambat gelombang geser (*shear-wave velocity*, v_s) lapisan tanah^{1),2)}. Perubahan yang terjadi pada umumnya adalah terjadinya amplifikasi dari gelombang geser; secara umum v_s yang rendah akan menyebabkan amplifikasi yang lebih besar.

Makalah ini membahas karakteristik geoteknik lokasi *accelerometer* yang berada di lingkungan Stasiun Meteorologi Maritim Klas I Tanjung Priok, Jakarta (JATA; 6.100LS, 106.867BT) dan yang berada di lingkungan Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok (JAU; 6.397LS, 106.833BT). Karakteristik geoteknik ditentukan melalui uji fisik dan uji geofisik. Berdasarkan karakteristik tersebut, analisis dinamik untuk deposit tanah setebal 30 m dilakukan untuk mendapatkan periode dominan lokasi. Sebagai catatan, berdasarkan SNI-1726-2002³⁾, percepatan puncak batuan dasar untuk periode ulang 500 tahun kedua lokasi tersebut adalah 0,15g atau 15% dari percepatan gravitasi, sedang berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum⁴⁾ percepatan puncak tersebut adalah sekitar 0,20g.

II. METODE PENELITIAN

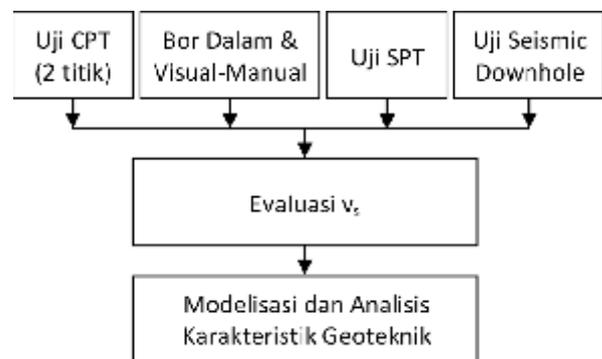
Karakteristik geoteknik ditentukan melalui uji fisik berupa uji *cone penetrometer* (CPT) atau

sondir, deskripsi visual-manual contoh tanah dari hasil bor dalam, dan uji *standard penetration* (SPT) serta melalui uji geofisik berupa uji *seismic downhole*. Keempat uji tersebut kemudian dibandingkan untuk membuat model karakteristik geoteknik. Model ini kemudian digunakan untuk menentukan kecepatan rambat gelombang geser rata-rata berbobot lokasi stasiun. Karakterisasi geoteknik ini dilakukan hingga kedalaman 30 m, mengacu pada SNI-03-1726-2002³⁾. Metode penelitian ini digambarkan secara diagramatik pada Gambar 1.

2.1. UJI CONE PENETRATION

Uji CPT dilakukan dengan mengikuti ASTM D3441⁵⁾ berupa tekanan hidrolik oleh batang baja dengan ujung berbentuk konus untuk mendapatkan profil vertikal kekuatan tanah menerus. Semua sondir dilakukan menggunakan alat sondir ringan dengan kapasitas 25 kN.

Pembacaan tahanan konus (q_c) dan tahanan geser (f_s) dari tanah ditentukan berdasarkan tekanan yang terukur pada manometer hidrolik dan dilakukan pada setiap interval 0.2 m. Semua pekerjaan sondir dihentikan bila pembacaan tekanan konus mencapai nilai 15 MPa. Berdasarkan data ini, perbandingan f_s dengan q_c (FR) dapat dihitung untuk membedakan tipe material tanah.



Gambar 1. Metode penelitian.

2.2. BOR DALAM DAN PROSEDUR VISUAL-MANUAL

Uji bor dalam dilakukan hingga kedalaman 30m. Pengeboran lubang dalam dilakukan menggunakan metode *rotary semi-wash boring* dan *coring*. Kemudian dilakukan proses identifikasi contoh tanah yang diperoleh dari *coring* berdasarkan ukuran butiran, warna, tingkat sementasi, tingkat plastisitas.

2.3. UJI STANDARD PENETRATION

Uji SPT dilakukan dengan mengikuti ASTM D1586⁶⁾ dilakukan pada tiap kedalaman antara 1.0 hingga 1.5 m pada dasar lubang bor dengan menggunakan alat split spoon sampler berdiameter 51 mm yang ditumbuk menggunakan palu 623 N cable-hoisted-hammer dengan ketinggian jatuh 0.76 m. Tumbukan dilakukan hingga terjadi penetrasi sampler ke dalam tanah sebesar 450 mm, dan pencatatan jumlah tumbukan dilakukan tiap penetrasi 150 mm. Penetrasi 150 mm pertama, dianggap sebagai *seating drive*. Jumlah pembacaan tumbukan pada penetrasi 150 mm kedua dan ketiga, dijumlahkan dan dicatat sebagai nilai N-SPT. Pencatatan nilai N-SPT selalu dalam bilangan bulat. Penumbukkan dengan palu dihentikan jika 50 kali tumbukan hanya menghasilkan penetrasi kurang dari atau sama dengan 150 mm.

2.4. UJI SEISMIC DOWNHOLE

Pengukuran kecepatan rambat gelombang geser tanah (v_s) yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode *seismic down-hole*, mengacu ASTM D7400⁷⁾. Dalam metode ini, gelombang geser diberikan pada permukaan tanah dan kemudian gelombang geser tersebut akan ditangkap oleh sensor gelombang geser yang dipasang pada kedalaman tertentu. Sumber gelombang geser dan sensor gelombang geser terhubung dengan seismograph. Dari catatan seismograph akan diketahui waktu tempuh yang diperlukan oleh gelombang geser tersebut untuk mencapai sensor, dan waktu tempuh ini digunakan untuk menentukan v_s . Pengujian dilakukan berulang dengan kedalaman sensor yang berbeda dengan interval 1 m, dan sensor diletakkan dalam casing PVC untuk mencegah terjepitnya sensor dalam tanah.

Dalam metode ini, gelombang geser diberikan pada permukaan tanah dan kemudian gelombang geser tersebut akan ditangkap oleh sensor gelombang geser yang dipasang pada kedalaman tertentu. Sumber gelombang geser dan sensor gelombang geser terhubung dengan seismograph. Dari catatan seismograph akan diketahui waktu tempuh yang diperlukan oleh gelombang geser tersebut untuk mencapai sensor, dan waktu tempuh ini digunakan untuk menentukan v_s . Pengujian dilakukan berulang dengan kedalaman sensor yang berbeda dengan interval 1 m, dan sensor diletakkan dalam casing PVC untuk mencegah terjepitnya sensor dalam tanah.

Sumber gelombang geser yang digunakan

adalah *New Hammer Impact - Aluminium* dengan desain yang dikembangkan oleh Laboratorium Geofisika Eksplorasi Universitas Indonesia. Sumber ini terbuat dari Aluminium Alloy tipe T6-6061 dan dilengkapi dengan pengait terbuat dari stainless steel yang berfungsi untuk mendapatkan nilai kontak yang baik antara sumber dengan tanah. Massa akhir dari sumber ini adalah sebesar 28 kg. Tipe sensor yang digunakan adalah geophone 3-komponen OYO Borehole Pick 3315, sedang tipe seismograph yang digunakan adalah OYO McSeis 24-channel portable engineering seismograph.

2.5. EVALUASI V_s

Nilai kecepatan rambat gelombang geser tanah (v_s) yang diperoleh dari uji *seismic downhole* kemudian dievaluasi berdasarkan hasil uji CPT dan hasil uji SPT. Hasil uji kedua uji fisik tersebut digunakan untuk mengestimasi v_s menggunakan korelasi berikut:

Hasil uji CPT - tanah lempung-lanau:

$$v_s = 6.21 (q_c)^{0.444} \quad (1a)$$

(q_c dalam kPa, Andrus et al.⁸⁾)

$$v_s = 211.2 (q_c)^{0.231} \quad (1b)$$

(q_c dalam MPa, Madiari & Simone⁹⁾)

$$v_s = 17.84 (q_c)^{0.301} \quad (1c)$$

(q_c dalam kPa, Sun et al.¹⁰⁾)

$$v_s = 115.70 (q_c)^{0.34} \quad (1d)$$

(q_c dalam MPa, Prakoso¹¹⁾)

Hasil uji CPT - tanah pasir:

$$v_s = 24.4 (q_c)^{0.211} \quad (2a)$$

(q_c dalam kPa, Andrus et al.⁸⁾)

$$v_s = 229.7 (q_c)^{0.253} \quad (2b)$$

(q_c dalam MPa, Madiari & Simone⁹⁾)

$$v_s = 15.37 (q_c)^{0.289} \quad (2c)$$

(q_c dalam kPa, Sun et al.¹⁰⁾)

Hasil uji SPT:

$$v_s = 97.0 (N-SPT)^{0.314} \quad (3a)$$

(Imai dan Tonouchi 1982 untuk semua jenis tanah, dalam Hasancebi dan Ulusay¹²⁾)

$$v_s = 100.5 (N-SPT)^{0.290} \quad (3b)$$

(Sykora dan Stokoe 1983 untuk tanah pasir, dalam Hasancebi dan Ulusay¹²⁾)

$$v_s = 97.9 (N-SPT)^{0.269} \quad (3c)$$

(lempung-lanau, Hasancebi dan Ulusay¹²⁾)

$$v_s = 90.8 (N-SPT)^{0.319} \quad (3d)$$

(pasiran, Hasancebi dan Ulusay¹²⁾)

$$v_s = 75.76 (N-SPT)^{0.371} \quad (3e)$$

(tanah residual pelapukan-pasiran, Sun et al.¹⁰⁾)

$$v_s = 107.94 (N-SPT)^{0.418} \quad (3f)$$

(batuan lapuk - pasiran, Sun et al.¹⁰⁾)

2.6. MODELISASI DAN ANALISIS KARAKTERISTIK GEOTEKNIK

Nilai kecepatan rambat gelombang geser tanah (v_s) yang telah dievaluasi kemudian difinalisasi menjadi model karakteristik geoteknik. Acuan utama dalam proses modelisasi adalah nilai v_s hasil pengukuran *seismic downhole*, sedang acuan tambahan adalah hasil penggunaan hasil uji CPT dan hasil uji SPT serta korelasi antara $v_s - q_c$ dan $v_s - N-SPT$.

Analisis karakteristik geoteknik penentuan jenis tanah untuk kegempabumian kemudian dilakukan berdasarkan model karakteristik geoteknik yang telah dikembangkan. Analisis tersebut dilakukan dengan mengacu pada SNI-03-1726-20023). Asumsi dasar yang digunakan dalam SNI tersebut adalah percepatan gempabumi yang terjadi pada permukaan tanah dipengaruhi utamanya oleh karakteristik geoteknik hingga kedalaman 30 m dari permukaan tanah. Salah satu parameter yang digunakan adalah kecepatan rambat gelombang geser rata-rata berbobot untuk kedalaman hingga 30 m v_{s-30} yang ditentukan dengan persamaan Pers. (4) berikut:

$$v_{s-30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n t_i / v_{si}} \quad (4)$$

dengan t_i adalah tebal lapisan tanah ke- i (dalam satuan m) dan v_{si} adalah kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke- i (dalam satuan m/s). Berdasarkan nilai v_{s-30} , karakteristik geoteknik atau jenis tanah ditentukan menjadi tanah lunak ($175 \text{ m/s} < v_{s-30}$), tanah sedang ($175 \text{ m/s} \leq v_{s-30} < 350 \text{ m/s}$), dan tanah keras ($350 \text{ m/s} \leq v_{s-30}$).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Stasiun JATA

Hasil uji fisik berupa hasil uji CPT, hasil bor dalam dan deskripsi visual-manual, serta hasil uji SPT untuk stasiun JATA ditampilkan sebagai Gambar 2. Uji CPT dilakukan hingga mencapai nilai $q_c = 15 \text{ MPa}$ pada kedalaman sekitar 11 m. Bor dalam dan deskripsi lapisan tanah serta uji SPT dilakukan hingga kedalaman 30,5 m.

Hasil uji kecepatan rambat gelombang geser juga ditampilkan sebagai Gambar 2. Hasil uji hingga kedalaman 9 m diasumsikan tidak valid karena sumber gelombang geser diletakkan sekitar 5 m dari titik bor dalam karena keterbatasan lokasi penelitian, sehingga hasil uji tidak ditampilkan.

Hasil uji kecepatan rambat gelombang geser kemudian dievaluasi dengan menggunakan hasil penggunaan hasil uji SPT serta korelasi antara $v_s - N-SPT$ sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa nilai v_s hasil pengukuran adalah relatif dalam rentang perkiraan nilai v_s berdasarkan nilai N-SPT pada Gambar 2 dan Pers. (3a) hingga (3e). Rentang perkiraan berdasarkan nilai v_s berdasarkan nilai q_c pada Gambar 2 dan Pers (1a) hingga (1d) dan berdasarkan nilai N-SPT pada Gambar 2 dan Pers. (3a) dan (3c) digunakan untuk membuat perkiraan nilai v_s untuk kedalaman hingga 9 m.

Model karakteristik geoteknik untuk stasiun JATA kemudian dikembangkan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4. Nilai v_{s-30} kemudian dianalisis dengan Pers. (4) dan diperoleh $v_{s-30} = 188,1 \text{ m/s}$ (tabel 1). Berdasarkan SNI-03-1726-2002 3), karakteristik geoteknik stasiun JATA adalah "Tanah Sedang". Hasil uji SPT stasiun JATA kemudian dibandingkan dengan uji SPT dari beberapa lubang bor lain yang relatif dekat dengan stasiun tersebut sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.

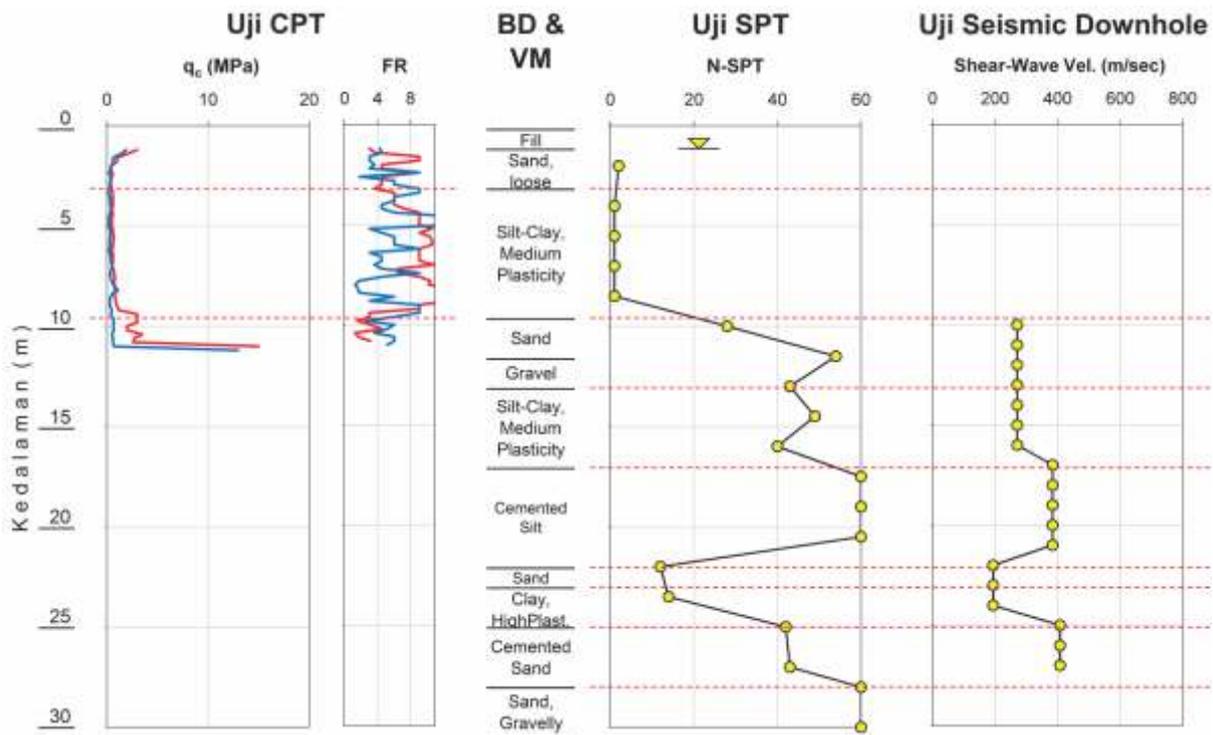
Sebagai catatan khusus, hasil uji CPT dan hasil uji SPT stasiun JATA bersifat lebih baik daripada hasil uji sejenis di lokasi sekeliling stasiun JATA; Gambar 5 menampilkan perbandingan hasil uji CPT dan SPT stasiun JATA dengan hasil dari empat (4) lokasi dengan jarak antara 100 m hingga 850 m dari stasiun JATA. Nilai $q_c = 15 \text{ MPa}$ dan $N-SPT > 40$ pada stasiun JATA adalah pada kedalaman sekitar 11 m, sedang nilai tersebut pada lokasi lainnya dijumpai pada kedalaman 16.0 m hingga 18.5 m. Hal ini mengindikasikan bahwa karakteristik geoteknik stasiun JATA akan lebih baik dibanding dengan lokasi sekitarnya sehingga efek spasial dari jenis tanah pada karakteristik geoteknik stasiun JATA perlu dievaluasi lebih lanjut.

3.2. STASIUN JAUI

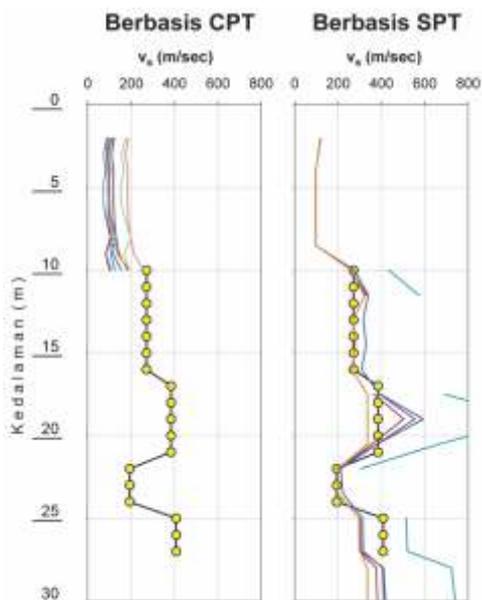
Hasil uji fisik berupa hasil uji CPT, hasil bor dalam dan deskripsi visual-manual, serta hasil uji SPT untuk stasiun JAUI ditampilkan sebagai Gambar 6. Uji CPT dilakukan hingga mencapai nilai $q_c = 15 \text{ MPa}$ pada kedalaman sekitar 18 m. Bor dalam dan deskripsi lapisan tanah serta uji SPT dilakukan hingga kedalaman 30,5 m. Hasil uji kecepatan rambat gelombang geser juga ditampilkan sebagai Gambar 6.

Hasil uji kecepatan rambat gelombang geser kemudian dievaluasi dengan menggunakan hasil penggunaan hasil uji CPT dan uji SPT serta korelasi antara v_s - q_c dan v_s - N-SPT sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7. Dapat dilihat bahwa nilai v_s hasil pengukuran adalah relatif dalam rentang perkiraan nilai v_s berdasarkan nilai uji fisik pada Gambar 2 dan Pers. (1a) hingga (3f).

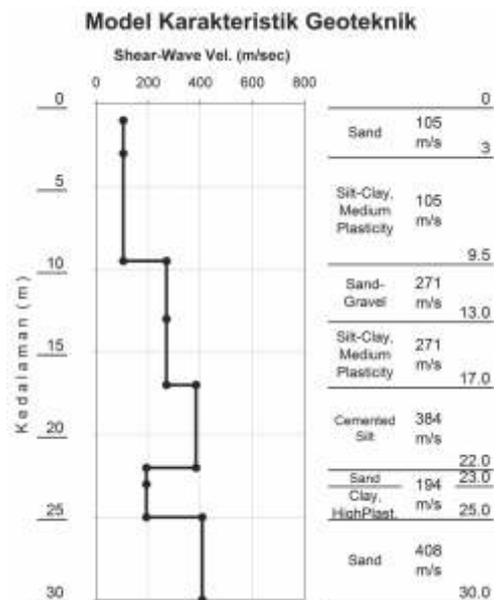
Model karakteristik geoteknik untuk stasiun JAUJ kemudian dikembangkan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Nilai v_{s-30} kemudian dianalisis dengan Pers. (4) dan diperoleh $v_{s-30} = 239,8$ m/s (tabel 1). Berdasarkan SNI-03-1726-2002³⁾, karakteristik geoteknik stasiun JAUJ adalah "Tanah Sedang".



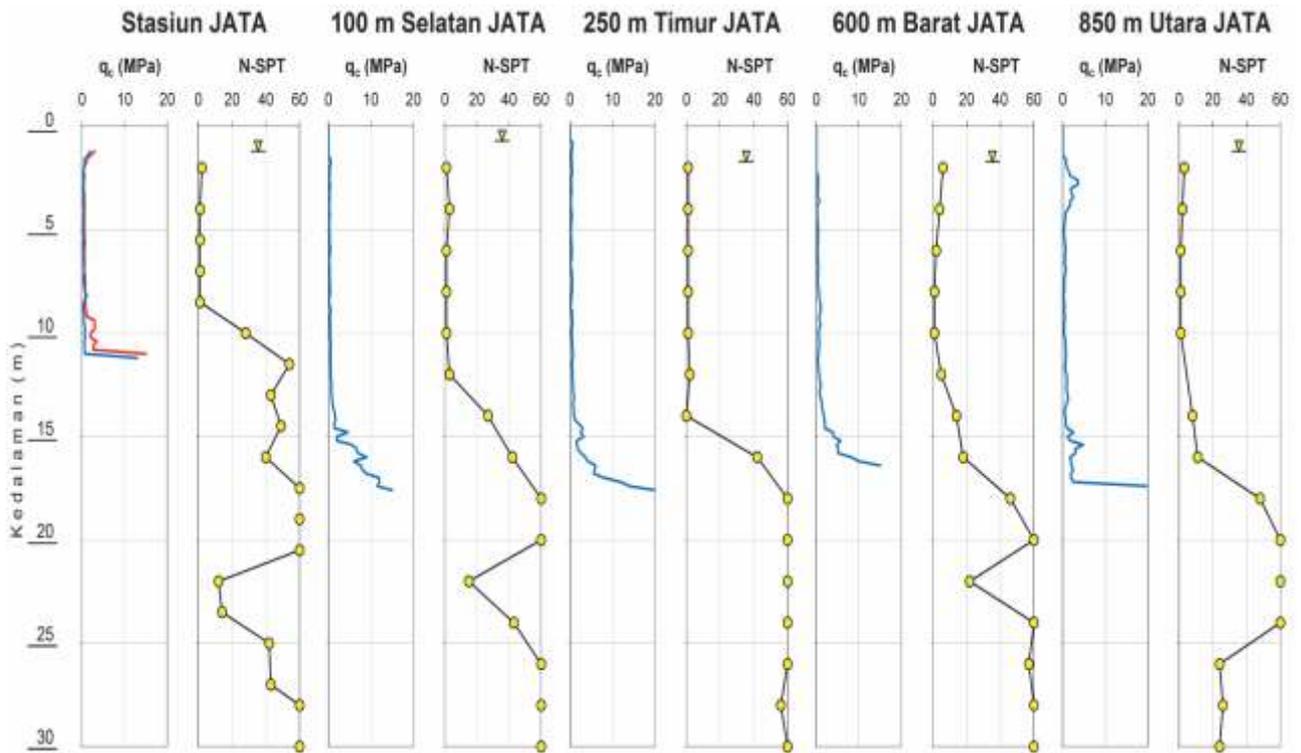
Gambar 2. Hasil uji fisik dan geofisik stasiun accelerometer Tanjung Priok (JATA).



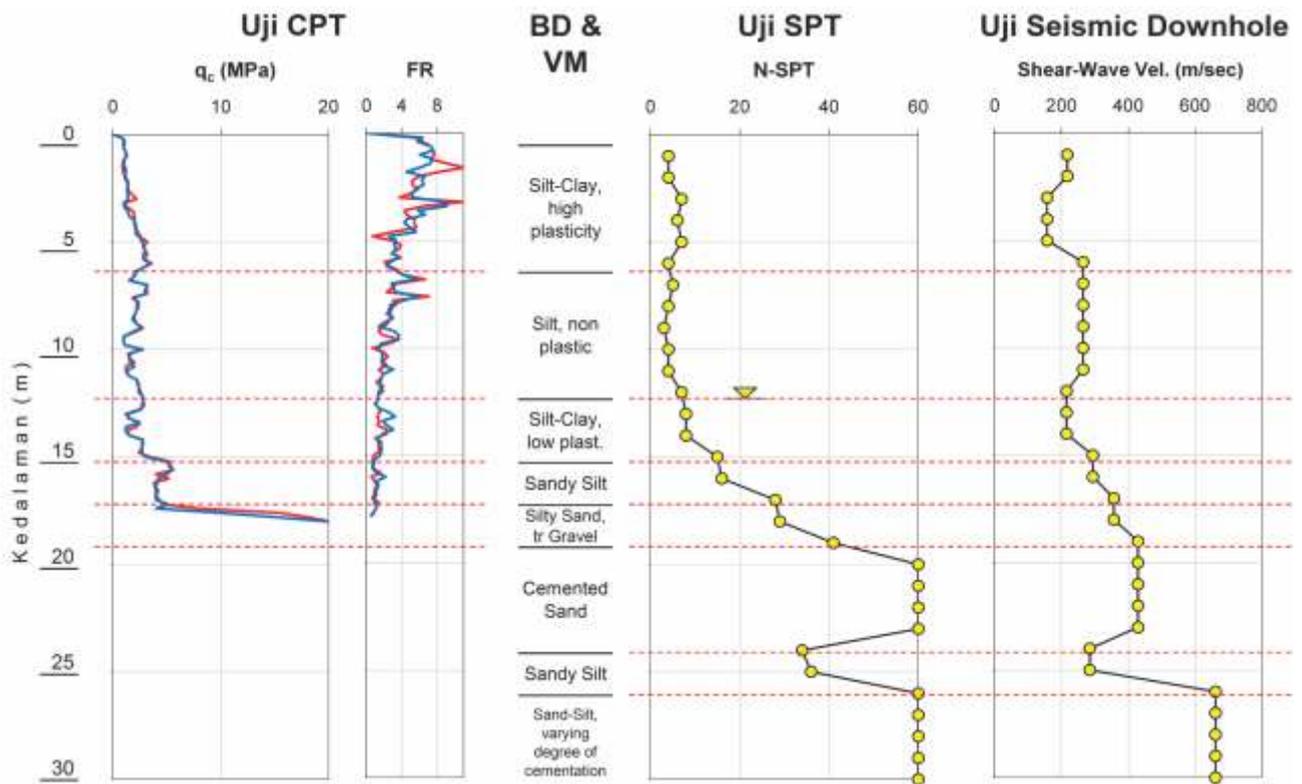
Gambar 3. Evaluasi nilai v_s stasiun JATA.



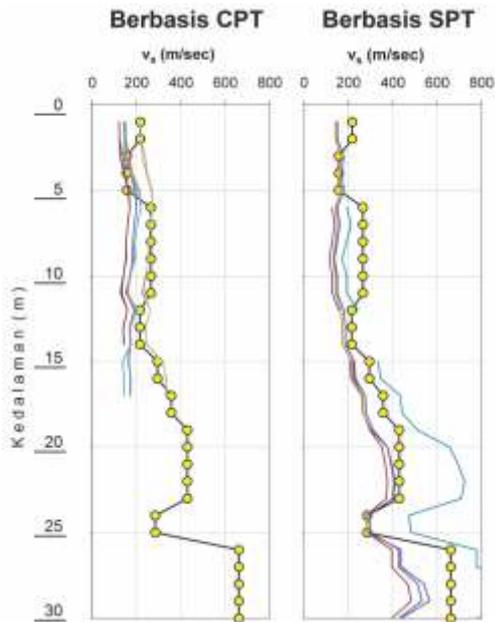
Gambar 4. Model karakteristik geoteknik stasiun JATA.



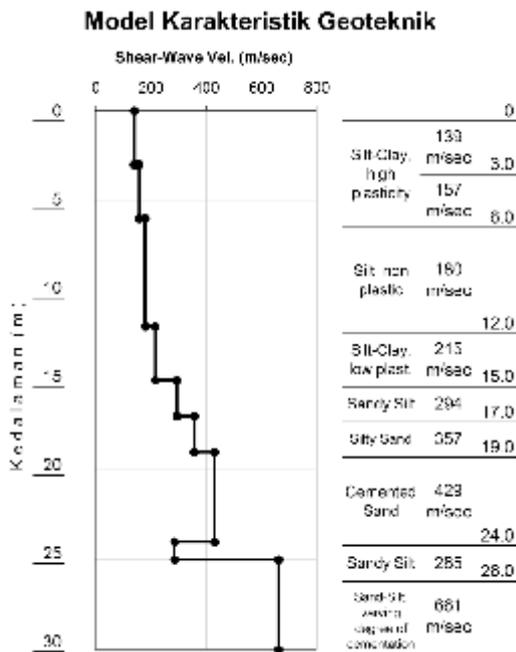
Gambar 5. Perbandingan hasil uji fisik stasiun JATA dan hasil uji lokasi sekitar stasiun JATA.



Gambar 6. Hasil uji fisik dan geofisik stasiun accelerometer FMIPA Universitas Indonesia (JAU).



Gambar 7. Evaluasi nilai vs stasiun JAUI.



Gambar 8. Model karakteristik geoteknik stasiun JAUI.

Tabel 1. Karakteristik geoteknik lokasi stasiun accelerometer

Lokasi	v_{s-30} (m/s)	Jenis Tanah
JATA	188,1	Tanah Sedang
JAUI	239,8	Tanah Sedang

IV. KESIMPULAN

Rekaman perangkat accelerometer pada permukaan tanah dapat diinterpretasi dengan lebih baik jika karakteristik geoteknik lokasi perangkat. Makalah ini membahas karakteristik geoteknik lokasi accelerometer yang berada di lingkungan Stasiun Meteorologi Maritim Klas I Tanjung Priok, Jakarta (JATA) dan yang berada di lingkungan Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok (JAUI).

Karakterisasi geoteknik ini dilakukan hingga kedalaman 30 m. Karakteristik geoteknik ditentukan melalui uji fisik berupa uji cone penetrometer (CPT), deskripsi visual-manual contoh tanah dari hasil bor dalam, dan uji standard penetration (SPT) serta melalui uji geofisik berupa uji seismic downhole. Keempat uji tersebut kemudian dievaluasi untuk membuat model dan melakukan analisis karakteristik geoteknik.

Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata berbobot stasiun JATA adalah 188,1 m/s dan termasuk dalam jenis "Tanah Sedang". Namun, perbandingan antara hasil uji CPT dan hasil uji SPT dari stasiun JATA dan lokasi sekitarnya mengindikasikan bahwa karakteristik geoteknik stasiun ini perlu dievaluasi lebih lanjut. Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata berbobot stasiun JAUI adalah 239,8 m/s dan termasuk dalam jenis "Tanah Sedang".

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan hibah dari Universitas Indonesia dengan kontrak No. DRPM/Hibah Riset Berbasis Laboratorium Internal/2010/I/10034. Kami penulis sangat menghargai adanya hibah ini.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Sukanta, I.N. & Prakoso, W.A. (2010). Analisis pengaruh variabilitas tanah pada variabilitas respon spektrum gempabumi, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 11(2), 149-157.
- Badan Standarisasi Nasional (2002). *SNI 03-1726-2002: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung*, Jakarta: BSN.
- Kementerian Pekerjaan Umum (2010). *Peta zonasi gempa Indonesia*, Jakarta: KPU.

- ⁵⁾ American Society for Testing and Materials (2008). *Standard test method for mechanical cone penetration tests of soil (D3441)*: Annual Book of Standards, Vol. 04.08, Philadelphia: ASTM.
- ⁶⁾ American Society for Testing and Materials (2008). *Standard test method for penetration test and split-barrel sampling of soils (D1586)*: Annual Book of Standards, Vol. 04.08, Philadelphia: ASTM.
- ⁷⁾ American Society for Testing and Materials (2008). *Standard test methods for downhole seismic testing (D7400)*: Annual Book of Standards, Vol. 04.08, Philadelphia: ASTM.
- ⁸⁾ Andrus, R.D., Zhang, J., Ellis, B.S., & Juang, C.H. (2003). *Guide for estimating the dynamic properties of South Carolina soils for ground response analysis*, FHWA-SC-03-07. Columbia: FHWA.
- ⁹⁾ Madiari, C. & Simoni, G. (2004). Shear wave velocity-penetration resistance correlation for holocene and pleistocene soils of an area in Central Italy. *Proceedings of ICS-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*, 1687-1694, Porto.
- ¹⁰⁾ Sun, C.-G., Kim, H.-J., & Chung, C.-K. (2008). Deduction of correlations between shear wave velocity and geotechnical in-situ penetration test data. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 12(4), 1-10.
- ¹¹⁾ Prakoso, W.A. (2010). Development of qc - vs correlation for depok silt-clay. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 17(3), 205-210.
- ¹²⁾ Hasancebi, N. & Ulusay, R. (2007). Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 203-213.