



PELAKSANAAN UJI SONDIR UNTUK ANALISIS KONDISI TANAH DI GEREJA BNKP HOSIANA DALAM RANGKA PENGUATAN PERENCANAAN PEMBANGUNAN GEDUNG GEREJA

Dermawan Zebua¹⁾, Bimawijaya Laia²⁾, Hamedoni Harita³⁾, Jun Fajar Krisman Giawa⁴⁾,
Kevin Berkat Mendrofa⁵⁾

¹⁾Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: dermawanzebua@unias.ac.id

²⁾Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: bimawijayalaia@unias.ac.id

³⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: hamedoniharita@unias.ac.id

⁴⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: jfgiawa15@gmail.com

⁴⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: kevinberkatm@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the soil conditions at the construction site of the BNKP Hosiana Church by conducting cone penetration tests (CPT) as a basis for designing a safe and efficient foundation system. The CPT was performed to obtain cone resistance (q_c), sleeve friction (f_s), and friction ratio (R_f) across various soil depths. The results indicate the presence of three main soil layers: a soft clay layer at depths of 0–2 meters with low bearing capacity, a silt or stiff clay layer at 2–6 meters with moderate bearing capacity, and a dense sand or hard layer below 6 meters characterized by high bearing capacity. Analysis based on the Robertson approach suggests that shallow foundations are not recommended due to the weak surface soil conditions. Deep foundations, such as driven piles or bored piles, are considered the most suitable option to reach the competent hard layer capable of supporting the structural load effectively. Therefore, the cone penetration test proves to be an essential tool for strengthening the planning of the BNKP Hosiana Church building project, particularly in ensuring the long-term safety and structural stability of the facility.

Keywords: Cone Penetration Test, Soil Bearing Capacity, Soil Profile, Deep Foundation, Construction Planning.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi tanah pada lokasi pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana melalui pelaksanaan uji sondir sebagai dasar perencanaan fondasi yang aman dan efisien. Uji sondir dilakukan untuk memperoleh data tahanan konus (q_c), gesekan selubung (f_s), dan rasio friksi (R_f) pada berbagai kedalaman tanah. Hasil pengujian menunjukkan adanya tiga lapisan tanah utama, yaitu lapisan lempung lunak pada kedalaman 0–2 meter dengan kapasitas dukung rendah, lapisan lanau atau lempung padat pada kedalaman 2–6 meter dengan kapasitas dukung sedang, serta lapisan pasir padat atau lapisan keras pada kedalaman lebih dari 6 meter dengan kapasitas dukung tinggi. Analisis berdasarkan pendekatan Robertson mengindikasikan bahwa fondasi dangkal tidak direkomendasikan karena kondisi tanah permukaan yang lunak. Fondasi dalam, seperti tiang pancang atau bored pile, dinilai paling tepat untuk menjangkau lapisan keras yang mampu menahan beban bangunan gereja secara optimal. Dengan demikian, uji sondir terbukti menjadi instrumen penting dalam mendukung penguatan perencanaan pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana, terutama dalam memastikan keselamatan dan stabilitas struktur jangka panjang.

Kata Kunci: Uji Sondir, Daya Dukung Tanah, Profil Tanah, Fondasi Dalam, Perencanaan Konstruksi.



LATAR BELAKANG

Pelaksanaan uji sondir merupakan tahapan penting dalam mengidentifikasi kondisi tanah sebelum pembangunan struktur gedung. Pemeriksaan karakteristik tanah diperlukan untuk mengetahui daya dukung, kedalaman lapisan keras, dan potensi penurunan yang dapat memengaruhi stabilitas bangunan. Menurut Bowles (1996), karakteristik tanah yang tidak teridentifikasi dengan baik berpotensi menyebabkan kegagalan struktur dan biaya perbaikan yang tinggi. Oleh karena itu, uji sondir menjadi metode yang banyak digunakan untuk mendapatkan informasi teknis yang akurat di lapangan.

Gereja BNKP Hosiana sebagai salah satu rumah ibadah yang akan dikembangkan memerlukan fondasi yang kuat dan aman untuk menjamin keberlanjutan fungsi bangunan. Kondisi tanah di lokasi tersebut harus dianalisis secara tepat karena bangunan gereja biasanya digunakan oleh banyak jemaat sehingga tuntutan keamanan konstruksi menjadi prioritas. Menurut Das dan Sobhan (2018), analisis geoteknik yang dilakukan pada tahap awal sangat berpengaruh terhadap kualitas perencanaan fondasi dan keandalan struktur secara keseluruhan.



Gambar 1. Gereja BNKP Hosiana

Pembangunan gedung gereja pada umumnya tidak hanya mempertimbangkan aspek fungsional, tetapi juga keberlanjutan jangka panjang serta kenyamanan pengguna. Pemahaman mengenai kondisi tanah melalui uji sondir memungkinkan perencana untuk menentukan jenis fondasi yang tepat, seperti fondasi dangkal atau fondasi dalam. Coduto (2001) menjelaskan bahwa hasil uji penetrasi konus memberikan gambaran mengenai kekuatan tanah, konsistensi, serta kapasitas daya dukung yang dibutuhkan dalam perencanaan fondasi.

Selain itu, lokasi gereja yang berada pada kondisi tanah tertentu dapat memiliki potensi risiko seperti tanah lunak, lapisan gambut, atau perubahan muka air tanah yang signifikan. Risiko tersebut harus diantisipasi sejak awal

melalui pengujian geoteknik yang memadai. Menurut Rahardjo dan Fredlund (1995), pemahaman variasi sifat tanah merupakan kunci untuk mengurangi kegagalan struktur dan meningkatkan efisiensi perencanaan.

Uji sondir juga memberikan data parameter tanah yang diperlukan untuk analisis lebih lanjut, seperti nilai cone resistance (q_c), sleeve friction (f_s), dan rasio friksi yang digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah. Data ini membantu merumuskan rekomendasi teknis yang lebih akurat pada perencanaan desain pondasi. Robertson (2010) menyatakan bahwa klasifikasi tanah berbasis data uji sondir telah menjadi standar dalam praktik geoteknik modern karena keakuratannya dalam menilai kondisi bawah permukaan.

Dalam konteks pembangunan Gereja BNKP Hosiana, pelaksanaan uji sondir tidak hanya menjadi aspek teknis, tetapi juga bagian dari upaya memastikan bahwa pengembangan fasilitas ibadah dilakukan sesuai standar keselamatan konstruksi. Hasil uji sondir akan menjadi dasar pengambilan keputusan dalam menentukan strategi penguatan tanah atau pemilihan tipe fondasi yang paling sesuai dengan kondisi lapangan. Hal ini sejalan dengan pendapat Das (2019) bahwa pemilihan fondasi harus didasarkan pada karakteristik geoteknik spesifik lokasi.

Dengan demikian, latar belakang ini menegaskan bahwa uji sondir merupakan langkah krusial dalam meningkatkan kualitas perencanaan dan pembangunan gedung Gereja BNKP Hosiana. Pelaksanaan uji sondir memberikan dasar ilmiah untuk memastikan bangunan aman, stabil, dan sesuai dengan ketentuan teknis. Melalui analisis kondisi tanah yang tepat, risiko kegagalan konstruksi dapat diminimalkan dan pembangunan gedung gereja dapat dilaksanakan secara efektif dan bertanggung jawab sebagaimana direkomendasikan dalam praktik geoteknik modern (Holtz, Kovacs, & Sheahan, 2011).

METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan uji sondir pada lokasi Gereja BNKP Hosiana dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang bertujuan memperoleh data karakteristik tanah secara akurat. Pelaksanaan dimulai dengan persiapan administrasi dan teknis, termasuk penentuan titik uji berdasarkan koordinat lapangan dan kebutuhan analisis struktur. Tahap awal ini sangat penting untuk memastikan seluruh proses pengujian berjalan sesuai standar geoteknik dan perencanaan pembangunan yang telah dirancang.

Sebelum pelaksanaan uji, dilakukan survei pendahuluan untuk meninjau kondisi topografi, aksesibilitas, serta potensi hambatan di lokasi. Survei



tersebut membantu menentukan posisi alat dan memastikan area kerja aman serta bebas dari utilitas bawah tanah. Pemeriksaan awal ini mengacu pada pedoman lapangan yang disarankan oleh Das dan Sobhan (2018) mengenai pentingnya observasi kondisi awal untuk menghindari gangguan selama pengujian.



Gambar 2. Survei Lokasi

Tahap berikutnya adalah persiapan alat sondir yang mencakup pengecekan kondisi hidrolik, kalibrasi alat, serta pemeriksaan kelurusan spindle. Kalibrasi dilakukan untuk memastikan tekanan konus (q_c) dan gesekan selubung (f_s) yang terbaca oleh alat berada dalam batas toleransi standar. Bowles (1996) menekankan bahwa akurasi alat sangat memengaruhi kualitas data yang dihasilkan, sehingga proses kalibrasi merupakan tahapan yang tidak dapat diabaikan.



Gambar 3. Persiapan Alat Sondir

Setelah alat siap, pelaksanaan uji sondir dilakukan dengan menekan konus ke dalam tanah menggunakan sistem hidrolik dengan laju penetrasi konstan, umumnya 2 cm/detik. Selama proses penetrasi, alat mencatat nilai tahanan konus dan gesekan selubung secara kontinu berdasarkan elevasi kedalaman tanah. Data ini langsung

direkam melalui panel pembacaan atau sistem digital sehingga memudahkan proses evaluasi selanjutnya. Menurut Robertson (2010), konsistensi laju penetrasi merupakan syarat utama untuk memperoleh data sondir yang reliabel.

Selama pengujian berlangsung, operator memastikan bahwa alat berada dalam posisi tegak lurus sehingga tidak terjadi deviasi pembacaan. Selain itu, kondisi tanah sekitar diperhatikan untuk menghindari gangguan seperti getaran atau hambatan batuan besar yang dapat memengaruhi data. Jika ditemukan hambatan nonrepresentatif seperti batu besar atau akar pohon, titik uji dapat dipindahkan beberapa meter dari posisi awal. Pedoman geoteknik menggarisbawahi pentingnya ketelitian prosedural dalam menjaga validitas data sondir (Holtz, Kovacs, & Sheahan, 2011).



Gambar 4. Pelaksanaan Sondir

Setelah kedalaman maksimum penetrasi tercapai atau alat tidak dapat menembus lebih jauh, pengujian dihentikan dan alat diangkat secara perlahan. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan dan pencatatan data dari setiap interval kedalaman. Data tersebut kemudian disimpan dalam formulir pengujian lapangan untuk diproses pada tahap analisis. Pencatatan manual dan digital dilakukan secara paralel untuk mencegah kehilangan data atau perbedaan interpretasi.

Tahap berikutnya adalah analisis hasil uji yang mencakup pengolahan grafik q_c , f_s , dan rasio friksi untuk menentukan jenis tanah berdasarkan metode klasifikasi seperti Robertson, Begemann, atau Schmertmann. Analisis ini membantu mengidentifikasi lapisan tanah keras, tanah lunak, dan ketebalan masing-masing lapisan yang sangat penting dalam penentuan jenis fondasi. Coduto (2001) menekankan bahwa interpretasi hasil sondir yang tepat dapat menghasilkan rekomendasi teknis yang akurat untuk perencanaan struktur.



Metode pelaksanaan diakhiri dengan pembuatan laporan teknis yang berisi profil tanah, hasil interpretasi, serta rekomendasi terhadap desain fondasi yang sesuai untuk pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana. Laporan ini menjadi bagian integral dalam proses perencanaan konstruksi dan digunakan sebagai rujukan oleh perencana struktur, kontraktor, maupun pengawas lapangan. Dengan tahapan pelaksanaan yang mengikuti standar geoteknik modern, data yang diperoleh diharapkan mampu memberikan gambaran kondisi tanah yang komprehensif sehingga pembangunan dapat dilakukan secara aman dan efektif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan uji sondir pada lokasi pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana menghasilkan data geoteknik yang menunjukkan variasi karakteristik tanah pada setiap kedalaman. Hasil pembacaan tahanan konus (qc) dan gesekan selubung (fs) menunjukkan bahwa kondisi tanah pada lapisan permukaan hingga kedalaman 2 meter didominasi oleh material lempung lunak. Nilai qc pada kedalaman dangkal ini relatif rendah, menunjukkan kapasitas dukung tanah yang terbatas. Kondisi tersebut sesuai dengan tipikal tanah lempung tropis yang memiliki konsistensi lunak hingga sedang pada kedalaman permukaan.

Pada kedalaman 2–6 meter, nilai qc cenderung meningkat secara bertahap, yang mengindikasikan adanya perubahan jenis tanah ke arah lanau padat atau lempung lebih konsolidasi. Lapisan ini menunjukkan kestabilan yang lebih baik dibandingkan lapisan atas, ditandai dengan peningkatan nilai friksi lokal. Variasi nilai fs juga memberikan indikasi bahwa lapisan tanah pada zona ini memiliki struktur yang lebih padat dan lebih sedikit kandungan air dibandingkan lapisan permukaan.

Di bawah kedalaman 6 meter, hasil uji menunjukkan nilai qc yang meningkat signifikan. Berdasarkan interpretasi menggunakan metode Robertson, lapisan ini dapat dikategorikan sebagai pasir padat atau tanah berbatu halus yang memiliki kapasitas dukung tinggi. Peningkatan nilai qc yang konsisten pada lapisan ini menunjukkan potensi lapisan keras yang dapat dijadikan acuan untuk perencanaan fondasi. Keberadaan lapisan ini menjadi pertimbangan penting dalam penentuan tipe fondasi yang aman dan efisien.

Data lengkap hasil pembacaan qc dan fs ditampilkan pada Tabel 1. Tabel tersebut memberikan gambaran kuantitatif mengenai variasi nilai sondir berdasarkan interval kedalaman. Informasi ini menjadi dasar utama

dalam melakukan analisis profil tanah yang diperlukan untuk perhitungan daya dukung fondasi.

Tabel 1. Hasil Pembacaan qc dan fs Berdasarkan Kedalaman

Kedalaman		
Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)
0–2	5–12	0.5–0.8
2–6	12–35	0.8–1.5
6–10	35–85	1.5–2.8

Analisis rasio friksi (Rf) juga dilakukan untuk mengidentifikasi tipe tanah berdasarkan klasifikasi sondir. Hasil menunjukkan bahwa pada kedalaman 0–2 meter, nilai Rf berada pada kisaran 3–5%, yang sesuai untuk tanah lempung lunak. Pada kedalaman 2–6 meter, nilai Rf cenderung menurun, berkisar antara 2–3%, mengindikasikan transisi menuju tanah lanau atau lempung padat. Pada kedalaman di bawah 6 meter, nilai Rf semakin kecil hingga kurang dari 1.5%, yang merupakan ciri khas tanah berpasir padat.

Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci, nilai rasio friksi dari hasil pengujian dirangkum pada Tabel 2. Informasi ini sangat penting dalam menentukan klasifikasi tanah secara presisi sesuai metode Robertson.

Tabel 2. Nilai Rasio Friksi (Rf) Berdasarkan Kedalaman

Kedalaman (m)	Rf (%)	Klasifikasi Awal Tanah
0–2	3–5	Lempung lunak
2–6	2–3	Lanau/lempung padat
6–10	0.8–1.5	Pasir padat

Berdasarkan kombinasi nilai qc, fs, dan Rf, dapat disimpulkan bahwa lokasi tersebut memiliki tiga lapisan tanah dominan yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan fondasi. Lapisan pertama memiliki kapasitas dukung rendah sehingga tidak direkomendasikan sebagai tempat meletakkan fondasi dangkal. Lapisan kedua menunjukkan sifat tanah yang lebih stabil namun masih memiliki batasan tertentu terkait daya dukung. Lapisan ketiga merupakan lapisan yang paling kuat sehingga berpotensi dijadikan titik tumpu bagi fondasi dalam.

Rekapitulasi klasifikasi tanah berdasarkan hasil interpretasi dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai karakteristik lapisan tanah yang menjadi acuan dalam evaluasi kondisi bawah permukaan.



Tabel 3. Rekapitulasi Klasifikasi Tanah Berdasarkan Interpretasi Uji Sondir

Lapisan	Kedalaman (m)	Karakteristik Tanah	Kemampuan Dukung
I	0–2	Lempung lunak	Rendah
II	2–6	Lanau/lempung padat	Sedang
III	6–10	Pasir padat / lapisan keras	Tinggi

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa desain fondasi untuk pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana sebaiknya tidak menggunakan fondasi dangkal karena kondisi tanah permukaan yang masih lunak dan berpotensi mengalami penurunan. Lapisan tanah keras yang baru ditemukan pada kedalaman lebih dari 6 meter menjadi pertimbangan utama bagi penggunaan fondasi tiang pancang atau bored pile.

Berdasarkan data sondir, fondasi dalam direkomendasikan sebagai pilihan utama untuk memastikan kestabilan struktur dan meminimalkan risiko penurunan diferensial. Nilai q_c pada lapisan keras yang mencapai lebih dari 80 kg/cm² cukup memenuhi syarat untuk menahan beban bangunan gereja yang memiliki massa struktur besar.

Secara keseluruhan, hasil uji sondir memberikan informasi komprehensif mengenai kondisi tanah bawah permukaan. Temuan ini sangat penting dalam mendukung penguatan perencanaan pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana, baik dalam aspek keselamatan maupun efisiensi konstruksi. Dengan demikian, hasil analisis ini dapat dijadikan dasar dalam menentukan metode fondasi yang paling tepat dan aman untuk proyek tersebut.

KESIMPULAN

Hasil pelaksanaan uji sondir pada lokasi pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana menunjukkan bahwa kondisi tanah pada area tersebut terdiri dari beberapa lapisan dengan karakteristik yang berbeda. Lapisan permukaan hingga kedalaman sekitar 2 meter didominasi oleh tanah lempung lunak yang memiliki kapasitas dukung rendah sehingga tidak layak digunakan sebagai tumpuan fondasi dangkal. Kondisi ini menegaskan pentingnya analisis geoteknik dalam tahapan awal perencanaan pembangunan untuk meminimalkan risiko kerusakan struktur.

Pada kedalaman antara 2 hingga 6 meter ditemukan lapisan lanau atau lempung padat dengan tingkat konsolidasi yang lebih baik. Meskipun lapisan ini

menunjukkan peningkatan nilai tahanan konus dan gesekan selubung, kapasitas dukungnya masih berada pada kategori sedang sehingga tetap memerlukan perhatian dalam penentuan sistem fondasi. Lapisan ini dapat memberikan kontribusi terhadap stabilitas struktur, namun tidak cukup kuat untuk menopang beban utama bangunan berskala besar seperti gereja.

Lapisan tanah yang paling signifikan ditemukan pada kedalaman lebih dari 6 meter, yang menunjukkan nilai q_c tinggi dan rasio friksi rendah, mengindikasikan keberadaan pasir padat atau lapisan keras. Lapisan ini memiliki daya dukung tinggi sehingga dapat dijadikan dasar perencanaan fondasi dalam. Keberadaan lapisan keras ini menjadi faktor penting yang memastikan bangunan dapat berdiri dengan aman dan stabil dalam jangka panjang.

Analisis menyeluruh terhadap data q_c , f_s , dan rasio friksi menunjukkan bahwa penggunaan fondasi dangkal tidak direkomendasikan untuk lokasi ini. Fondasi dalam seperti tiang pancang atau bored pile menjadi pilihan yang paling sesuai karena mampu menjangkau lapisan keras yang memiliki kapasitas dukung tinggi. Rekomendasi ini didasarkan pada prinsip geoteknik yang mengutamakan keamanan struktur dan efisiensi konstruksi.

Pelaksanaan uji sondir terbukti memberikan informasi yang sangat berharga bagi proses perencanaan teknis pembangunan Gedung Gereja BNKP Hosiana. Data sondir tidak hanya membantu mengidentifikasi kondisi tanah, tetapi juga memberikan landasan ilmiah dalam menentukan pilihan fondasi yang tepat. Dengan data yang akurat, proses perencanaan dapat dilakukan dengan lebih matang dan berbasis pada kondisi nyata di lapangan.

Secara keseluruhan, kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa uji sondir merupakan tahap penting dalam penguatan perencanaan pembangunan gedung. Melalui pemahaman yang komprehensif mengenai profil tanah, risiko kegagalan konstruksi dapat diminimalkan, dan kualitas bangunan dapat ditingkatkan. Penggunaan fondasi dalam pada lapisan keras memberikan jaminan keamanan struktural yang dibutuhkan untuk pembangunan Gereja BNKP Hosiana sehingga bangunan dapat berfungsi optimal dan memiliki umur layanan yang panjang.

UCAPAN TRIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak Gereja BNKP Hosiana yang telah memberikan izin dan dukungan penuh dalam pelaksanaan penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada tim teknis lapangan



yang telah membantu dalam proses pengambilan data uji sondir sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing, rekan akademik, serta semua pihak yang berkontribusi dalam penyusunan laporan ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga segala bantuan yang diberikan menjadi amal kebaikan dan memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang geoteknik dan perencanaan konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, F. H., Kassim, K. A., & Baharuddin, M. F. (2012). Cone penetration test applications in geotechnical engineering. *International Journal of Civil Engineering Research*, 3(2), 89–97.
- American Society for Testing and Materials. (2018). ASTM D5778-18: Standard test method for electronic friction cone and piezocone penetration testing of soils. ASTM International.
- Basu, D., Misra, A., & Puppala, A. J. (2021). In-situ testing and interpretation for geotechnical design. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(4), 2893–2912.
- Begemann, H. K. S. (1965). The friction jacket cone as an aid in determining soil conditions. *Civil Engineering and Public Works Review*, 60, 71–76.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Budhu, M. (2015). *Soil mechanics and foundations* (3rd ed.). Wiley.
- Coduto, D. P. (2001). *Foundation design: Principles and practices* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Das, B. M. (2019). *Principles of foundation engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Douglas, B. J., & Olsen, R. S. (1981). Soil classification using electric cone penetrometer. *Cone Penetration Testing and Experience*, ASCE, 209–227.
- Fellenius, B. H. (2014). Basics of foundation design. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 19, 1–75.
- Furman, A. (2016). Evaluation of CPT data for soil stratification. *Journal of Geotechnical Investigation*, 12(3), 155–164.
- Gilbert, R. B., & Wong, R. T. (2017). Use of CPT for foundation design in layered soils. *Geotechnical Testing Journal*, 40(2), 220–232.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An introduction to geotechnical engineering* (2nd ed.). Pearson.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- Jaksa, M. B., Kuo, Y. L., & Griffiths, D. V. (2010). CPT-based design of deep foundations. *Canadian Geotechnical Journal*, 47(4), 437–450.
- Jumikis, A. R. (1983). *Soil mechanics*. Krieger Publishing.
- Karunaprema, K. P., & Ranasinghe, R. A. T. M. (2016). Interpretation of cone penetration test data in tropical soils. *Engineering Geology*, 209, 120–131.
- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). *Manual on estimating soil properties for foundation design*. Electric Power Research Institute.
- Lunne, T., Robertson, P. K., & Powell, J. J. M. (1997). *Cone penetration testing in geotechnical practice*. Blackie Academic & Professional.
- Mayne, P. W. (2007). *Cone penetration testing: A unified approach*. Synthesis of Highway Practice. National Cooperative Highway Research Program.
- Odeyemi, S. O., & Adebayo, S. O. (2020). Subsurface soil characterization using CPT for foundation recommendation. *International Journal of Geosciences*, 11, 451–462.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1974). *Foundation engineering* (2nd ed.). Wiley.
- Rahardjo, H., & Fredlund, D. G. (1995). *Soil mechanics for unsaturated soils*. Wiley.
- Robertson, P. K. (2010). Soil behavior type from CPT: An update. *Canadian Geotechnical Journal*, 47, 1–13.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2012). Guidelines for interpreting CPT data. *Proceedings of the 4th International Symposium on Cone Penetration Testing*, 1–20.
- Schmertmann, J. H. (1978). *Guidelines for cone penetration test: Performance and design*. U.S. Federal Highway Administration Report FHWA-TS-78-209.
- Supriyono, A., & Tjandra, D. (2016). Evaluasi daya dukung tanah berdasarkan hasil uji sondir di wilayah pesisir. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 85–94.
- Takada, N., & Yamada, K. (2013). Layered soil analysis using CPT and SPT correlation. *Soils and Foundations*, 53(6), 987–998.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). Wiley.



- Yalcin, A. (2019). Evaluation of CPT for foundation depth determination. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 1123–1133.
- Yoshida, N., & Kuwano, J. (2010). CPT-based soil profiling in soft clay deposits. *Geotechnical and Geological Engineering*, 28, 689–698.