

Pendampingan Penyelidikan Tanah (Sondir) Dalam Perencanaan Pembangunan Jembatan Desa Buntalan Kecamatan Temayang Kabupaten Bojonegoro

Ikko Bagus Ismanto*, Herta Novianto, Alfia Nur Rahmawati, Anthony Eka Widjaya

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bojonegoro, Bojonegoro,

*Penulis korespondensi: ikkobagoesismanto@gmail.com

Dikirim : 26 Februari 2026

Direvisi : 22 Juni 2026

Diterima : 23 Juni 2026

Abstrak: Keterbatasan data geoteknik kerap menjadi penyebab utama ketidakpastian pemilihan jenis dan kedalaman pondasi pada pembangunan infrastruktur desa, termasuk jembatan. Kegiatan pengabdian ini bertujuan menyediakan data penyelidikan tanah berbasis uji sondir/cone penetration test (CPT) sekaligus meningkatkan literasi teknis mitra dalam memahami urgensi investigasi tanah untuk perencanaan pondasi. Metode pelaksanaan menerapkan *community-based research* dengan pendekatan partisipatif-edukatif-aplikatif melalui koordinasi penentuan titik uji, pelaksanaan CPT, penjelasan singkat parameter uji (q_c dan rasio gesek), serta interpretasi kolaboratif hasil. Pengujian dilakukan pada dua titik menggunakan CPT hidrolik kapasitas 10 tonf dengan pembacaan per interval 20 cm dan kecepatan penetrasi sekitar 2 cm/detik mengacu pada rujukan standar yang relevan. Hasil menunjukkan variasi kedalaman awal lapisan tanah keras yang diindikasikan saat $q_c \geq 250$ kg/cm², yaitu sekitar 8,20 m pada titik 01 ($q_c \approx 254$ kg/cm²) dan 3,40 m pada titik 02 ($q_c \approx 293$ kg/cm²). Variasi stratigrafi ini menjadi dasar rekomendasi awal penentuan sistem pondasi dan kebutuhan verifikasi lanjutan pada tahap desain rinci.

Kata kunci: cone penetration test (CPT), jembatan desa, pengabdian masyarakat, pondasi, sondir

Abstract: Limited geotechnical data often increases uncertainty in selecting foundation type and embedment depth for village infrastructure, including bridges. This community engagement program aimed to provide soil investigation data using cone penetration test (CPT) and to improve stakeholders' technical literacy on evidence-based foundation planning. The program adopted a community-based research framework with participatory, educational, and practical activities, including coordination for test-point selection, CPT execution, short technical briefings on key parameters (q_c and friction ratio), and collaborative interpretation. Two soundings were performed using a 10-tonf hydraulic CPT unit with readings at 20-cm depth intervals and a penetration rate of approximately 2 cm/s, referring to relevant standards. Results indicate substantial variability in the depth to hard layers, operationally identified at $q_c \geq 250$ kg/cm²: about 8.20 m at Point 01 ($q_c \approx 254$ kg/cm²) and 3.40 m at Point 02 ($q_c \approx 293$ kg/cm²). This stratigraphic variability informed preliminary recommendations on shallow versus deep foundations and highlighted the need for further verification during detailed design.

Keywords: bridge, community engagement, cone penetration test (CPT), foundation, soil investigation

1. Pendahuluan

Jembatan desa merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang memiliki peran strategis dalam meningkatkan konektivitas antarwilayah, memperlancar mobilitas masyarakat, serta mendukung pertumbuhan ekonomi dan pemerataan pembangunan di kawasan perdesaan. Ketersediaan jembatan yang aman dan andal memberikan dampak langsung terhadap kemudahan akses masyarakat menuju pusat pelayanan publik, pendidikan, kesehatan, maupun aktivitas perdagangan. Oleh karena itu, pembangunan jembatan harus direncanakan secara komprehensif, tidak hanya memperhatikan kekuatan struktur atas (*superstructure*), tetapi juga mempertimbangkan kondisi geoteknik sebagai dasar perencanaan sistem pondasi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar permasalahan pada konstruksi pondasi berkaitan erat dengan karakteristik tanah dasar yang tidak teridentifikasi secara memadai pada tahap perencanaan, sehingga investigasi tanah menjadi salah satu tahapan yang sangat menentukan keberhasilan suatu proyek konstruksi (Akbar dkk., 2025; Sari & Wahyuni, 2023).

Pada pembangunan infrastruktur skala desa, aspek geoteknik masih sering memperoleh perhatian yang lebih rendah dibandingkan perencanaan struktur atas. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh keterbatasan anggaran pembangunan, minimnya akses terhadap peralatan investigasi tanah, serta rendahnya kapasitas teknis pemerintah desa maupun masyarakat dalam memahami pentingnya data geoteknik sebagai dasar pengambilan keputusan. Akibatnya, penentuan jenis maupun kedalaman pondasi masih banyak dilakukan berdasarkan pengalaman empiris tanpa didukung hasil investigasi lapangan yang memadai. Praktik tersebut berpotensi meningkatkan risiko terjadinya penurunan diferensial (*differential settlement*), penurunan daya dukung tanah, deformasi berlebih, hingga kegagalan struktur yang dapat mengurangi umur layanan jembatan. Oleh sebab itu, penerapan pembangunan infrastruktur berbasis data (*evidence-based infrastructure planning*) menjadi kebutuhan penting agar setiap keputusan teknis didasarkan pada karakteristik tanah yang sebenarnya dan mampu menghasilkan konstruksi yang lebih aman, ekonomis, serta berkelanjutan.

Salah satu metode investigasi tanah yang paling banyak digunakan dalam praktik rekayasa geoteknik adalah *cone penetration test* (CPT) atau uji sondir. Pengujian ini mampu menghasilkan profil tanah secara kontinu melalui pengukuran tahanan ujung konus (*cone resistance*, qc) dan rasio gesekan (*friction ratio*, Rf), sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi stratigrafi tanah, mengklasifikasikan perilaku tanah (*soil behaviour type*), memperkirakan parameter geoteknik, serta menentukan alternatif sistem pondasi yang sesuai.

Perkembangan penelitian beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa interpretasi data CPT terus mengalami penyempurnaan melalui pengembangan indeks klasifikasi perilaku tanah yang lebih representatif dibandingkan metode konvensional sehingga mampu meningkatkan akurasi interpretasi kondisi bawah permukaan (Sodré, 2022). Selain itu, data CPT juga telah banyak dimanfaatkan untuk memprediksi parameter geoteknik lainnya, seperti kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity*), yang berperan penting dalam analisis deformasi dan respons dinamis tanah, sehingga memperluas pemanfaatan CPT sebagai metode investigasi lapangan yang efisien dan andal (Minmahddun, 2025; Hamdani dkk., 2024).

Kemajuan teknologi juga mendorong berkembangnya berbagai pendekatan numerik dalam analisis CPT. Pemodelan berbasis *Lattice Boltzmann Method* (LBM) dan *Discrete Element Method* (DEM) menunjukkan bahwa mekanisme penetrasi konus dapat direpresentasikan dengan tingkat akurasi yang tinggi sehingga meningkatkan pemahaman mengenai interaksi antara alat uji dan massa tanah pada berbagai kondisi geologi (Allulakshmi *et al.*, 2022). Penelitian eksperimental menggunakan *centrifuge test* juga membuktikan bahwa data CPT sangat sensitif dalam mendeteksi perubahan stratigrafi tanah berlapis sehingga mampu memberikan informasi yang lebih akurat dalam penentuan kedalaman lapisan pendukung pondasi (Saputra, 2025; Esfeh *et al.*, 2025; Marzouk *et al.*, 2025; Sepulveda *et al.*, 2024). Temuan-temuan tersebut memperkuat posisi CPT sebagai salah satu metode investigasi lapangan yang paling andal dalam perencanaan pondasi bangunan sipil modern.

Dalam konteks pengabdian kepada masyarakat, pelaksanaan investigasi tanah tidak hanya menghasilkan data teknis yang diperlukan dalam perencanaan konstruksi, tetapi juga menjadi media transfer pengetahuan kepada pemerintah desa dan masyarakat mengenai pentingnya aspek geoteknik dalam pembangunan infrastruktur. Pendekatan pendampingan yang bersifat partisipatif memungkinkan mitra terlibat secara langsung sejak tahap identifikasi kebutuhan, penentuan titik investigasi, pelaksanaan pengujian, hingga interpretasi hasil. Melalui proses tersebut, kapasitas teknis mitra meningkat sehingga keputusan pembangunan tidak lagi hanya didasarkan pada pengalaman empiris, melainkan pada data hasil investigasi lapangan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pendekatan ini sejalan dengan paradigma *community-based research*, yaitu kolaborasi antara perguruan tinggi dan masyarakat dalam menghasilkan solusi berbasis bukti terhadap permasalahan teknis yang dihadapi di lapangan.

Berdasarkan kebutuhan mitra di Desa Buntalan, Kecamatan Temayang, Kabupaten Bojonegoro, kegiatan pengabdian ini difokuskan pada pendampingan pelaksanaan *Cone Penetration Test* (CPT) di sekitar lokasi rencana pembangunan jembatan serta pendampingan interpretasi hasil pengujian sebagai dasar penyusunan rekomendasi awal sistem pondasi. Mitra dilibatkan secara aktif mulai dari penentuan lokasi pengujian, pelaksanaan investigasi, hingga pembahasan hasil sebagai bagian dari proses peningkatan literasi teknis mengenai perencanaan pondasi berbasis data geoteknik. Dalam kegiatan ini, lapisan tanah keras didefinisikan secara operasional ketika nilai tahanan ujung konus (q_c) mencapai atau melebihi 250 kg/cm^2 , yang selanjutnya digunakan sebagai acuan awal dalam menentukan kedalaman pondasi pada tahap perencanaan teknis.

2. Metode

Kegiatan menerapkan pendekatan partisipatif–edukatif–aplikatif yang mencakup: (1) koordinasi awal dengan mitra untuk pemetaan kebutuhan dan penentuan titik uji; (2) pelaksanaan CPT di lapangan; (3) penyuluhan singkat mengenai konsep investigasi tanah dan parameter CPT; serta (4) interpretasi kolaboratif hasil untuk rekomendasi awal pondasi. Kondisi lokasi akses dan sekitar jembatan didokumentasikan untuk konteks perencanaan (Gambar 1).

Pelaksanaan CPT menggunakan alat CPT hidrolik kapasitas 10 tonf, dengan pembacaan parameter q_c dan friksi/rasio gesek pada interval kedalaman 20 cm serta kecepatan penetrasi sekitar 2 cm/detik hingga mencapai lapisan keras atau batas kapasitas alat. Dua titik uji ditetapkan pada koordinat: CPT-01 (S $7^\circ 17' 10,6692''$; E $111^\circ 54' 37,1952''$) dan CPT-02 (S $7^\circ 17' 12,138''$; E $111^\circ 54' 36,8208''$) (Tabel 1). Prosedur umum pelaksanaan dan interpretasi merujuk pada standar/metode CPT yang lazim digunakan (ASTM International, 2016; FHWA, 2016; BSN, 2008), serta pedoman interpretasi berbasis korelasi parameter CPT untuk perilaku tanah (Robertson, 2010; Robertson, 2022). Aktivitas lapangan dan pendampingan teknis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Kondisi di lapangan akses dan lokasi jembatan Desa Buntalan saat survei/persiapan kegiatan



Gambar 2. Pelaksanaan pendampingan uji sondir/CPT menggunakan CPT hidraulik

3. Hasil dan Diskusi

Pendampingan berlangsung melalui keterlibatan mitra pada tahap penentuan titik uji, observasi proses pengujian, dan diskusi interpretasi hasil. Gambar 2 menunjukkan proses pendampingan teknis di lapangan. Dari sisi proses, kegiatan tidak hanya menghasilkan data CPT, tetapi juga membangun pemahaman mitra bahwa keputusan pondasi perlu berbasis data tanah setempat untuk mengurangi risiko teknis dan biaya korektif.

Hasil pengujian diperlihatkan dalam Tabel 1-3. Ringkasan hasil CPT pada dua titik menunjukkan perbedaan kedalaman lapisan keras yang bermakna untuk perencanaan pondasi. Dengan ambang operasional $q_c \geq 250 \text{ kg/cm}^2$, lapisan keras pada CPT-01 mulai terindikasi pada kedalaman 8,20 m dengan q_c sekitar 254 kg/cm^2 , sedangkan pada CPT-02 mulai terindikasi pada kedalaman 3,40 m dengan q_c sekitar 293 kg/cm^2 (Tabel 1). Variasi ini sejalan dengan prinsip bahwa kondisi stratigrafi dapat berubah secara lateral dalam jarak relatif dekat, sehingga hasil investigasi di satu titik tidak dapat digeneralisasi tanpa kehati-hatian (FHWA, 2016; Robertson, 2010).

Perbedaan kedalaman lapisan keras menimbulkan konsekuensi langsung pada opsi pondasi. Pada CPT-02, keberadaan lapisan keras lebih dangkal membuka peluang pondasi dangkal atau pondasi dengan kedalaman moderat untuk beban tertentu, namun tetap memerlukan evaluasi penurunan (settlement) dan kontrol kualitas pelaksanaan (Bowles, 1997; Terzaghi *et al.*, 1996). Sebaliknya, pada CPT-01, lapisan keras yang lebih dalam cenderung mengarah pada kebutuhan pondasi lebih dalam atau strategi perbaikan tanah bila beban struktur dan kondisi hidrologi menuntutnya (FHWA, 2016). Selain itu, ketebalan lapisan keras tidak selalu dapat dipastikan hanya dari CPT, sehingga untuk struktur dengan tuntutan beban besar perlu verifikasi lanjutan pada tahap desain rinci (misalnya tambahan titik uji atau metode investigasi pendukung) (Robertson, 2022; FHWA, 2016).

Tabel 1. Hasil Pengujian Sondir Test 01

Deep	Conus Resistance (q_c) (kg/cm^2)	Total Friction T_f (kg/cm)	Friction Ratio (R_f) %	Konsistensi	Klasifikasi
0.20	10	13.142	6.72	<i>Lunak / soft</i>	<i>clay</i>
0.60	10	39.426	6.72	<i>Lunak / soft</i>	<i>clay</i>
0.80	20	52.568	3.36	<i>Teguh / Firm</i>	<i>clayey silt to silty clay</i>
2.00	39	197.131	3.36	<i>Kaku / stiff</i>	<i>clayey silt to silty clay</i>
2.20	49	223.416	2.69	<i>Kaku / stiff</i>	<i>sandy silt to clayey silt</i>
2.60	49	275.984	2.69	<i>Kaku / stiff</i>	<i>sandy silt to clayey silt</i>
2.80	49	315.410	4.03	<i>Kaku / stiff</i>	<i>clayey silt to silty clay</i>
5.00	117	801.668	2.24	<i>Sangat Kaku / very stiff</i>	<i>silty sand to sandy silt</i>
5.20	117	827.952	1.12	<i>Sangat Kaku / very stiff</i>	<i>sand to silty sand</i>
8.00	215	1590.193	1.22	<i>Keras / hard</i>	<i>sand</i>
8.20	254	1616.478	0.52	<i>Keras / hard</i>	<i>gravelly sand to sand</i>
9.00	293	1747.898	0.45	<i>Keras / hard</i>	<i>gravelly sand to sand</i>

Tabel 2. Hasil Pengujian Sondir Test 02

Deep	Conus Resistance (qc) (kg/cm ²)	Total Friction Tf (kg/cm)	Friction Ratio (Rf) %	Konsistensi	Klasifikasi
0.20	10	13.142	6.72	Lunak / soft	clay
1.60	20	157.705	13.44	Teguh / Firm	clay
1.80	39	183.989	3.36	Kaku / stiff	clayey silt to silty clay
2.20	59	262.842	4.48	Kaku / stiff	clayey silt to silty clay
2.40	98	289.126	1.34	Sangat Kaku / very stiff	sand to silty sand
3.40	293	551.968	1.34	Keras / hard	sand
3.60	352	604.536	0.75	Keras / hard	gravelly sand to sand
4.00	352	762.241	1.49	Keras / hard	sand

Tabel 3. Ringkasan titik uji CPT/sondir dan indikasi lapisan tanah keras ($qc \geq 250$ kg/cm²)

Titik uji	Koordinat	Peralatan & pembacaan	Kedalaman awal qc $\geq$ 250 kg/cm ² (m)	qc pada kedalaman tersebut (kg/cm ²)	Catatan interpretasi awal
Sondir/CPT-01	S 7°17'10,6692"; E 111°54'37,1952"	CPT hidrolik 10 tonf; interval 20 cm; v $\approx$ 2 cm/detik	8,20	254	Lapisan keras relatif dalam → indikasi kebutuhan pondasi lebih dalam/pengecekan beban rencana
Sondir/CPT-02	S 7°17'12,138"; E 111°54'36,8208"	CPT hidrolik 10 tonf; interval 20 cm; v $\approx$ 2 cm/detik	3,40	293	Lapisan keras lebih dangkal → pondasi dangkal bisa dipertimbangkan untuk beban tertentu, tetap cek settlement

4. Kesimpulan

Pendampingan pelaksanaan uji sondir (*Cone Penetration Test/CPT*) di Desa Buntalan berhasil mencapai tujuan kegiatan, yaitu menyediakan data geoteknik sebagai dasar awal perencanaan pondasi jembatan sekaligus meningkatkan kapasitas teknis mitra dalam memahami pentingnya investigasi tanah pada pembangunan infrastruktur. Hasil pengujian pada dua titik menunjukkan adanya variasi kondisi stratigrafi tanah yang cukup signifikan, di mana lapisan tanah keras terindikasi pada kedalaman sekitar 8,20 m pada titik CPT-01 dengan nilai *cone resistance* (qc) sekitar 254 kg/cm², sedangkan pada titik CPT-02 lapisan tanah keras teridentifikasi pada kedalaman sekitar 3,40 m dengan nilai qc sekitar 293 kg/cm². Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik tanah dapat berubah secara lateral meskipun berada dalam lokasi yang relatif berdekatan, sehingga keputusan pemilihan jenis maupun kedalaman pondasi harus didasarkan pada hasil investigasi lapangan yang spesifik dan tidak dapat

digeneralisasi hanya berdasarkan kondisi di satu titik pengujian.

Selain menghasilkan luaran teknis berupa data CPT dan rekomendasi awal sistem pondasi, kegiatan ini juga memberikan manfaat nonteknis melalui peningkatan literasi dan pemahaman mitra mengenai fungsi investigasi tanah dalam mendukung keselamatan, keandalan, dan efisiensi pembangunan infrastruktur desa. Pendekatan pendampingan yang bersifat partisipatif memungkinkan mitra terlibat secara langsung pada setiap tahapan kegiatan, mulai dari penentuan lokasi pengujian, pelaksanaan investigasi, hingga interpretasi hasil, sehingga proses transfer pengetahuan berlangsung lebih efektif dan aplikatif. Dengan meningkatnya pemahaman tersebut, diharapkan pemerintah desa dan para pemangku kepentingan semakin menyadari pentingnya menjadikan investigasi geoteknik sebagai salah satu prasyarat dalam setiap perencanaan pembangunan infrastruktur.

Secara praktis, hasil kegiatan ini dapat dimanfaatkan sebagai data awal dalam penyusunan desain pondasi jembatan yang lebih aman, ekonomis, dan berbasis kondisi geoteknik setempat. Namun demikian, mengingat pengujian hanya dilakukan pada dua titik, hasil yang diperoleh masih bersifat rekomendasi awal sehingga perlu dilengkapi dengan investigasi geoteknik tambahan, baik melalui penambahan titik CPT maupun metode investigasi lain sesuai kebutuhan pada tahap perencanaan teknis rinci. Ke depan, kegiatan pendampingan serupa diharapkan dapat diterapkan pada pembangunan infrastruktur desa lainnya dengan mengintegrasikan aspek edukasi masyarakat dan investigasi teknis, sehingga mampu mendukung terwujudnya pembangunan desa yang lebih berkualitas, akuntabel, dan berbasis bukti (*evidence-based development*).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Desa Buntalan dan seluruh pihak yang mendukung pelaksanaan kegiatan serta Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro atas dukungan teknis pengujian dan penyusunan ringkasan hasil.

Daftar Referensi

- Akbar, Y.A., Lituhayu, G.T., Putri, A.A. & Yofianti, D. (2025). Analisis Karakteristik Tanah Untuk Penentuan Jenis Pondasi Pada Perencanaan Gedung Auditorium UBB. *KERN : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(2), 75–90. <https://doi.org/10.33005/kern.v11i2.92>.
- Allulakshmi, K., Vinod, J.S., Heitor, A. & Fourie, A. (2022). Numerical Modeling of Cone Penetration Test: An LBM–DEM Approach. *International Journal of Geomechanics*,

22(8), 0002497. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0002497](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002497)

ASTM International. (2016). ASTM D3441-16: Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Testing of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2008). SNI 2827:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Bowles, J.E. (1997). Foundation Analysis and Design. *McGraw-Hill*, New York.

Esfef, P.K., Amuthan, M.S., Bransby, M.F., Bienen, B. & O'Loughlin, C.D. (2025). Insights on cyclic cone penetration in sand from centrifuge and numerical modelling. *Canadian Geotechnical Journal*, 62, 1-16. <https://doi.org/10.1139/cgj-2024-0109>

Federal Highway Administration (FHWA). (2016). Geotechnical Site Characterization (FHWA-NHI-16-072). Federal Highway Administration, Washington, DC.

Hamdani, D., Pratikso, P. & Firmana A.Y. (2024). Kajian Pustaka Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk Pengolahan dan Penyajian Data Geoteknik. *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(6), 2813-2823. <https://doi.org/10.38035/rj.v6i6.1156>.

Marzouk, I., Granitzer, AN., Rauter, S. & Tschuchnigg, F. (2024). A Case Study on Advanced CPT Data Interpretation: From Stratification to Soil Parameters. *Geotech Geol Eng* 42, 4087–4113. <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02774-9>

Minmahddun, A. (2025). Karakterisasi Geoteknik Lahan: Integrasi Uji Sondir (CPT) dan Laboratorium. *Jurnal Aspirasi Teknik Sipil*, 3(1), 9-19. <https://doi.org/10.35438/aspal.v3i1.108>

Robertson, P. K. (2010). Soil Behaviour Type from the CPT: an update. Diakses tanggal 26 Februari 2026 dari laman <https://www.cpt-robertson.com/>

Robertson, P. K. (2022). CPT Guide: Cone Penetration Test. Diakses tanggal 26 Februari 2026 dari laman <https://www.cpt-robertson.com/>

Saputra, H. (2025). Analisis Stratifikasi dan Klasifikasi Tanah dengan Variasi Metode Grafik pada Uji CPT (Cone Penetration Test). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 9(1), 39-49. <https://dx.doi.org/10.32832/komposit.v9i1.17460>

Sari, S.N.I. & Wahyuni, D. (2023). Analysis of Soil Characteristics by Layer Based on the Robertson et al and Schmertmann Method from CPT (Cone Penetration Test). *Sriwijaya Journal of Environment*, 8(2), 76-81. <https://doi.org/10.22135/sje.2023.8.2.76-81>

Sodré, D.J.R. (2022). Cone penetration index for soil behaviour type prediction. *scientific reports*, 12, 12412. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15994-x>

Sepulveda, A., Zeghal, M., Kutter, B.L., Manzari, M.T., Abdoun, T., Escoffier, S., Haigh, S.K.,

Hung, W-Y., Korre, E., Madabhushi, G.S.P., Manandhar, S., Okamura, M., Tobita, T., Ueda, K. & Zhou, Y-G. (2024). Correlation of CPT measurements and relative density of LEAP-2017 and LEAP-2020 centrifuge models. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 181, 108639. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108639>.

Terzaghi, K., Peck, R. B. & Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice. *John Wiley & Sons*, New York.