

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat disampaikan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Pelapisan tanah berdasarkan hasil CPTu di Proyek Kanal POJ Semarang ini didominasi oleh lapisan lempung dengan konsistensi sangat lunak hingga sangat teguh. Penetrasi berakhir pada tanah lanau kelembungan dengan konsistensi sangat teguh.
2. Metode empiris yang diandalkan dalam penelitian dalam menentukan derajat konsolidasi adalah dengan metode B_q , B_q^* dan pendekatan tegangan efektif, sedangkan untuk metode Schmertmann kurang andal dikarenakan pendekatan bersifat subjektif dan kurang akurat.
3. Hasil keseluruhan peninjauan data CPTu dalam menentukan nilai derajat konsolidasi rata-rata dari metode empiris pada *underconsolidating soil*:
 - Metode B_q vs OCR didapatkan sebesar 77,88%
 - Metode B_q^* vs OCR didapatkan sebesar 80,06%
 - Metode pendekatan tegangan efektif didapatkan sebesar 62,89%.
4. Hasil keseluruhan peninjauan data CPTu untuk kedalaman uji disipasi dalam menentukan nilai derajat konsolidasi menggunakan metode terukur dan metode empiris sebagai berikut:
 - Metode *Inverse time method* didapatkan sebesar 60,84%
 - Metode *Inverse square root time method* didapatkan sebesar 61,05%
 - Metode B_q vs OCR didapatkan sebesar 62,46%
 - Metode B_q^* vs OCR didapatkan sebesar 62,73%
 - Metode pendekatan tegangan efektif didapatkan sebesar 54,64%.
5. Untuk Area Tinjauan permasalahan pada proyek CPTu-06 dengan hasil interpretasi nilai derajat konsolidasi berdasarkan metode empiris pada *underconsolidating layer* untuk metode B_q vs OCR didapatkan sebesar 73,67% pada kedalaman 8,25 – 23,7 m, metode B_q^* vs OCR didapatkan

sebesar 72,40% pada kedalaman 10 – 23,7 m, dan metode pendekatan tegangan efektif didapatkan sebesar 52,60% pada kedalaman 6,5 – 26 m.

6. Untuk Area tinjauan permasalahan pada proyek CPTu-06 dengan uji disipasi pada kedalaman 8,33 m didapatkan nilai derajat konsolidasi menggunakan metode terukur dan metode empiris sebagai berikut:
 - Metode *Inverse time method* didapatkan sebesar 64,31%
 - Metode *Inverse square root time method* didapatkan sebesar 64,31%
 - Metode B_q vs *OCR* didapatkan sebesar 85,97%
 - Metode B_q^* vs *OCR* didapatkan sebesar >100% (terdisipasi seluruhnya)
 - Metode pendekatan tegangan efektif didapatkan sebesar 59,46%.
7. Berdasarkan summary hasil interpretasi derajat konsolidasi pada *layer underconsolidating* dari metode-metode empiris cukup mendekati dengan hasil dari uji lapangan (CPTu yaitu *Dissipation Test*).
8. Metode empiris B_q , B_q^* dan pendekatan tegangan efektif mampu memberikan pendekatan yang mencerminkan efek dari *residual excess pore pressure* pada proyek POJ Semarang tanah *underconsolidating*.
9. Dimana *residual excess pore pressure* pada metode perhitungan empiris B_q dan B_q^* lebih mencerminkan terhadap data terukur (CPTu yaitu *Dissipation Test*).
10. Metode B_q dan B_q^* lebih bisa diandalkan karena terdapat **dua faktor (u_z & q_t)** dibandingkan dengan metode tegangan efektif yang hanya mengandalkan **satu faktor (q_t)**.
11. Interpretasi derajat konsolidasi dan *residual excess pore pressure* mencerminkan sifat dan karakteristik tanah lunak yang *underconsolidating* yaitu $OCR < 1$, nilai $B_q < 0,75$ dan nilai $B_q^* < 0,64$.
12. Kuat geser (s_u) dari tanah lempung berdasarkan uji laboratorium pada tanah *underconsolidating layer* sampai kedalaman 30 m sangat tinggi dimana s_u berkisar antara 15 – 30 kPa menandakan tanah lempung konsistensi lunak hingga sedang, sedangkan dengan metode empiris merujuk pada rasio $s_u/\sigma_{v0} < 0,22$ dan $s_u < 25$ kPa menandakan tanah masih berkonsolidasi dengan konsistensi sangat lunak hingga lunak.

13. Setiap metode empiris untuk menentukan nilai derajat konsolidasi pada tanah *underconsolidating* dapat berbeda-beda berdasarkan nilai OCR < 1 terhadap kedalamannya.
14. *Sensitivity study* permeabilitas, k (Layer 1 dan Layer 2) dalam mencerminkan pengaruh efek *residual excess pore pressure* pada tanah *underconsolidating* CPTu-06, dengan permeabilitas sebesar 4×10^{-5} m/hari.
15. Hasil dari uji disipasi untuk nilai koefisien konsolidasi horizontal, c_h , pada desain CPTu-06 sebesar $0,03 \text{ cm}^2/\text{menit}$ dengan $t_{50} = 191$ menit. Dengan nilai koefisien konsolidasi vertikal, c_v , dari uji laboratorium sebesar $0,05 \text{ cm}^2/\text{menit}$.
16. Terkait efek *residual excess pore pressure* yang didapatkan dari *Back Analysis* tersebut memberikan bentuk deformasi yang cukup mencerminkan gambaran deformasi di lapangan saat ini.
17. Hasil *residual excess pore pressure* terbesar pada metode empiris yaitu 73,8 kPa, sedangkan untuk *back analysis* didapatkan untuk CASE 1 (kondisi terbaru) sebesar 71,1 kPa, CASE 2 (1/2 tahun sesudah instalasi *sheet pile*) sebesar 73,1 kPa, dan pada CASE 3 (sesaat instalasi *sheet pile*) sebesar 75,2 kPa.
18. Berdasarkan hasil *back analysis* dari segi waktu untuk melihat efek *residual excess pore pressure* dan deformasi selama instalasi *sheet pile* pada CASE 1, CASE 2, & CASE 3 cenderung tidak memberikan dampak yang signifikan pada lapisan *underconsolidating*. Hal ini kemungkinan akan berdampak signifikan saat adanya penambahan beban berupa timbunan karena mendorong peningkatan *excess pore pressure* sesaat instalasi *sheet pile* dan juga kaitan dengan permeabilitas pada *underconsolidating layer*.
19. Terkait permasalahan deformasi yang besar maka dicek untuk segi keamanan pada struktural *sheet pile* dari momen, dimana momen hasil analisis didapatkan $10,47 \text{ ton.m} < \text{moment crack-nya}$ sebesar $15,6 \text{ ton.m}$, sehingga disimpulkan secara struktural *sheet pile* masih kondisi aman.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan *Soft Soil Material Model*.
2. Evaluasi hasil *displacement* yang terjadi disesuaikan dengan keadaan lapangan dengan perbandingan *SSM – HSM*.
3. Segi desain *sheet pile* perlu di perpanjang menembus *underconsolidating layer*.
4. Dilakukan kajian lanjutan untuk melihat efek *residual excess pore pressure* tersebut setelah terlaksana solusi untuk perpanjangan *sheet pile* ataupun metode perbaikan lainnya.
5. Perlu mengkaji adanya gaya dorong tambahan pada efek *residual excess pore pressure* dan tekanan lateral tanah lebih mendalam pada tanah *underconsolidating* .
6. Sebaiknya kedalaman uji disipasi yang baiknya dilakukan pada saat pori eksek yang didapatkan berada di tengah *underconsolidating layer*.
7. Disarankan untuk pengambilan data *dissipation test* dilakukan 2 – 3 titik kedalaman untuk memberikan data untuk diolah dalam hasil estimasi derajat konsolidasi dan tekanan eksek *pore pressure* yang lebih akurat.

Daftar Pustaka

- Al-Shayea, N., Abduljawwad, S., Bashir, R., Al-Ghamedy, H., & Asi, I. (2003). Determination of parameters for a hyperbolic model of soils. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 156(2), pp. 105-117. doi:<https://doi.org/10.1680/geng.2003.156.2.105>
- Arafianto, A. (2017). *State of The Art Piezocone (CPTu)*. Independent Study , Parahyangan Catholic University , Department of Civil Engineering , Bandung.
- Asadi, M., Shariatmadari, N., Karimpour-Fard, M., & Noorzad, A. (2017, October). Validation of Hyperbolic Model by the Results of Triaxial and Direct Shear test of Municipal Solid Waste. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(5), 2003-2015. doi:<https://link.springer.com/article/10.1007/s10706-017-0223-y>
- Blake, E. W., & Clarke, G. K. (2017, January 20). Interpretation of borehole-inclinometer data: a general theory applied to a new instrument. (H. Jiskoot, Ed.) *Journal of Glaciology*, 38(128), 113-124. doi:<https://doi.org/10.3189/S0022143000009655>
- BSN. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik*. Jakarta.
- Chen, B. S., & Mayne, P. W. (1995). Type 1 and 2 Piezocone Evaluations of Overconsolidation Ratio in Clays. *Proceeding International Symposium on Cone Penetration Testing*. Linkoping Sweden.
- Chou, V. F., Rahardjo, P. P., & Lim, A. (2022, May 17). Analisis Balik Galian Dalam dengan Metode Konstruksi Top-Down Menggunakan Analisis Elemen Hingga 2-Dimensi dan 3-Dimensi. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(1). doi:<http://dx.doi.org/10.5614/jts.2022.29.1.4>
- Duncan, J. M., & Chang, C.-Y. (1970). Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 96(5), 1629-1653. doi:<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001458>

- Evaluation of a Deep Excavation in Jakarta, Indonesia.* (n.d.). Retrieved from Deep Excavation: <https://www.deepexcavation.com/en/resources/case-studies/evaluation-of-an-excavation-jakarta-indonesia>
- Geotechnical Engineering Consultant. (2023). *Laporan Faktual Hasil Uji Piezocone Proyek Pearl of Java City Semarang.* Bandung, Indonesia.
- Goldberg, D. T., Jaworski, W. E., & Gordon, M. D. (1976). *Lateral Support Systems and Underpinning Volume III: Construction Methods.* Federal highway Administration. United States: FHWA. Retrieved from https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/25310/dot_25310_DS1.pdf
- Huynh, Q. T., Lai, V. Q., Tran, V. T., & Nguyen, M. T. (2019). Analyzing the settlement of adjacent buildings with shallow foundation based on the horizontal displacement of retaining wall. (P. D. Long, & N. T. Dung, Eds.) *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, 62, 313-. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-15-2184-3_39
- James M. Duncan, C.-Y. C. (1970). Analyses of soil movement around a deep excavation. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 96(sm5), 1655-1681. doi:<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001459>
- Kaare Senneset, Sandven, R., & Janbu, N. (1989). EVALUATION OF SOIL PARAMETERS FROM PIEZOCONE TESTS. *Transportation Research Record*, 24-37. Retrieved from <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:78087802>
- Karstunen, M., & Amavasai, A. (2017). *Best Soil: Soft Soil Modelling and Parameter Determination.* CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Architecture and Civil Engineering. Gothenburg, Sweden: Engineering Geology & Geotechnics (EG2) Research Group. Retrieved from https://research.chalmers.se/publication/522789/file/522789_Fulltext.pdf
- Khaled, O. E., Spyropoulos, E., & Alnaim, A. (2021, June). Validation of Correlation Factor between Es and Qc Using Load Tests. *6th World*

Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'21).
102. ICGRE. doi:10.11159/icgre21.lx.102

Lie, E. (2023, December). Evaluation of Consolidation Degree from CPTu using Rahardjo (2016) Method Case Study of Consolidating Soil in East Kalimantan. *Indonesian Geotechnical Journal*, 2 (3), 9-20. doi:<https://doi.org/10.56144/igj.v2i3.44>

Lie, E., & Lim, A. (2023, December 31). Evaluation of Degree of Consolidation, Over Consolidation Ratio and Coefficient of Consolidation from CPTu tests in Alluvium Clays. *INERSIA*, 19 (2). doi:<http://dx.doi.org/10.21831/inersia.v19i2.58976>

Lim, A., Anggoro, B. W., & Rahardjo, P. P. (2016). PERFORMANCE AND MODELLING OF UNBRACED SHALLOW EXCAVATION IN UNDER CONSOLIDATION JAKARTA SOFT CLAY. *Proceedings of Soft Soils*, (p. 7). Jakarta. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Aswin-Lim/publication/309209443_Performance_and_Modelling_of_Unbraced_Shallow_Excavation_in_Under-consolidation_Jakarta_Soft_Clay/links/5805c22308ae98cb6f2a7c38/Performance-and-Modelling-of-Unbraced-Shallow-Excavation-

Lunne, T., Robertson, P. K., & Powell, J. J. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Blackie Academic & Professional.

Lyman, R. A. (2019, Agustus). STUDI NUMERIK PERILAKU GALIAN DALAM DENGAN PROTEKSI SECANT PILE MENGGUNAKAN SOIL NAILING PADA TANAH LEMPUNG. Bandung City, West Java. Retrieved from <http://hdl.handle.net/123456789/9744>

Machan, G., & Bennett, V. G. (2008). *Use of Inclometers for Geotechnical Instrumentation on Transportation Projects: State of the Practice*. Transportation Research Board. Retrieved from <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/160335.aspx>

- Mayne, P. W., Cargill, E., & Greig, J. (2023). *The Cone Penetration Test: Better Information Better Decisions*. ConeTec.
- Moormann, C. (2004, February). ANALYSIS OF WALL AND GROUND MOVEMENTS DUE TO DEEP EXCAVATIONS. *Soils and Foundations*, 44(1), 87-98. doi:<https://doi.org/10.3208/sandf.44.87>
- Ou, C. Y. (2006). *Deep Excavation Theory and Practice* (1st ed.). CRC Press.
- Rahardjo, P. P. (2018). Different Methods of Excavation for Basement in Jakarta: Design, Reality and Associated Problems. In R. Chen, G. Zheng, & C. Ou (Ed.), *Proceedings of the 2nd International Symposium on Asia Urban GeoEngineering* (pp. 184-203). Singapore: Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-10-6632-0_15
- Rahardjo, P. P., & Arafianto, A. (2022). CPTu in Ultra-Soft and Very Soft Marine Clays and Silts in North Jakarta Coastal Area. *Proceedings of International Symposium on Practical Applications of Ground Engineering for Embankments on Soft Soils, 2022 (GEES2022)* (pp. 245-252). Selangor, Malaysia: The Institution of Engineers, Malaysia. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/364734831>
- Rahardjo, P. P., & Lim, A. (2019). Geotechnical Failures Due to Excavation in Consolidating Soft Soils Deposit. (pp. 14-18). Taipei, Taiwan: Proceedings of the 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Rahardjo, P. P., Anggoro, B. W., & Wirawan, A. (2016). CPTu in Consolidating Soils. *Fifth International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization (ISC'5)* (pp. 363-368). Sydney, Australia: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Rahardjo, P. P., Anggoro, B. W., Yakin, A. Y., & Darmawan, H. (2008). Determination of the Degree of Consolidation of Reclaimed Site on Deep Soft Mahakam Deltaic Soils using CPTu. *Proceeding of the Fourth*

International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, (pp. 883-889). Atlanta, GA.

Rahardjo, P. P., Wirawan, A., & Setiawan, R. (2014). An Analytical and Empirical Study on Ground Movement and Excess Pore Pressure Generation Due to Pile Driving in Soft Soils. *Proceeding of the International Conference on the Soft Soils and Ground Improvement*, A8-1 – A8-13.

Randolph, M. (2004). Characterization of soft sediments for offshore applications. *Proc. ISC-2 Geotech. Geophys Site Charact. 2004*,.

Robertson, P. K. (2013, November). *CPTu dissipation tests - Theory to practice, Webinar #11*. Gregg Drilling & Testing, Inc.

Rus, T. Y., & Soeparlan, A. A. (2021, Februari). Analisa Penurunan Tanah Akibat Struktur Galian Dalam Menggunakan Parameter Kuat Geser Efektif Berdasarkan Metode Elemen Hingga 3D di Jakarta Pusat. *Rekayasa Sipil*, 10(1), 17-25. doi:<http://dx.doi.org/10.22441/jrs.2021.v10.i1.03>

Santoso, P. C., Johan, A., & Rahardjo, P. P. (2022). Studi Parameter Modulus Elastisitas Tanah pada Proyek Galian Dalam di Bumi Serpong Damai, Tangerang Berdasarkan Data Monitoring Inklinometer. *Proceedings 26th Annual National Conference on Geotechnical Engineering* (pp. 73-78). Jakarta: Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI).

Setionegoro, N. (2013). *Research on the Characterization of Consolidating Soils*. Ph.D Dissertation submitted to the Graduate School, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia.

Sowers, G. F. (1979). *Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering 4th Edition*. New York: Macmillan.

Sully, J. P., Robertson, P. K., Campanella, R. G., & Woeller, D. J. (1999, September). An approach to evaluation of field CPTU dissipation data in overconsolidated fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(2), 369-381. doi:<http://dx.doi.org/10.1139/cgj-36-2-369>

Tanaka, Y., & Sakagami, T. (1989). PIEZOCONE TESTING IN UNDERCONSOLIDATED CLAY. *Canadian Geotechnical Journal*(26), 563-567. doi:<https://doi.org/10.1139/T89-069>

