

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penjabaran hasil analisis perilaku lempung lunak melalui uji in-situ dan uji laboratorium maka kesimpulan yang dapat diperoleh dari studi ini:

1. Kadar air pada lokasi penelitian berkisar antara 20-124%. Rentang batas cair dan batas plastis yang diperoleh berturut-turut ialah sebesar 38-74 dan 17-33. Berdasarkan profil *Atterberg limits* tersebut dapat dilakukan indikasi awal bahwa lapisan tanah hingga kedalaman 20 m berkonsistensi lunak dengan nilai *liquidity index* lebih besar 2 masih dijumpai hingga kedalaman tersebut.
2. Nilai indeks kompresi pada lapisan terduga tanah lunak ialah sebesar 0.4-1.7. Indeks kompresi bernilai lebih besar dari 0.3 dinyatakan bersifat *very compressible* sehingga lapisan tanah lunak Pulau Laut dikategorikan sebagai tanah dengan tingkat kompresibilitas sangat tinggi. Nilai angka pori pada lapisan terduga tanah lunak berkisar antara 0.8-3.8.
3. Besar kompresibilitas volume tanah lapisan terduga lunak berada pada rentang 0.9 – 4.8 m<sup>2</sup>/MN sehingga dikelompokkan sebagai tanah dengan kompresibilitas tinggi hingga sangat tinggi.
4. Metode Taylor dalam penentuan koefisien konsolidasi pada tanah lempung Pulau Laut tidak selalu berhasil sehingga diperlukan *back analysis* secara manual. Hasil *back analysis* untuk menentukan *true coefficient of consolidation* pada tegangan referensi 100 kPa dinilai baik dengan rentang koefisien adalah sebesar 0.6 – 1.3 m<sup>2</sup>/tahun.

5. Aplikasi kurva *intrinsic compression line* dalam pengambilan nilai tegangan pra-konsolidasi dinilai mudah dan prospektif oleh karena tidak dipengaruhi subjektivitas peneliti seperti pada metode Casagrande. Selain itu, konsistensi *overconsolidation ratio* hasil analisis *intrinsic compression line* dengan profil in-situ dinilai baik sehingga meningkatkan keandalan implementasi prinsip *intrinsic compression line*.
6. Interpretasi tanah lempung lunak dari uji CPTu menghasilkan faktor  $N_{kt}$  rata-rata lapangan sebesar 12.4 dengan rentang 5 – 26 dan sebesar 13.8 saat tanah berada pada kondisi *normally consolidated*. Aplikasi nilai  $N_{kt}$  sebesar 12.4 tersebut berkorelasi baik dengan profil kuat geser tak teralir hasil uji laboratorium.
7. Secara keseluruhan, karakterisasi kuat geser tanah lempung lunak untuk masing-masing zona diperlukan oleh karena besarnya variasi pelapisan dan parameter tanah lempung lunak di lokasi studi ini. Pada zona 1 tidak ditemukan eksistensi tanah lunak. Pada zona 2, 3, dan 6 lapisan tanah lunak mencapai kedalaman 4.2 m – 6.8 m dengan perkiraan kuat geser pada lapisan tersebut sebesar 7 – 60 kPa. Pada zona 4, 5, dan 7 lapisan tanah lunak mencapai rentang kedalaman 10 m – 16 m dengan perkiraan kuat geser pada lapisan tersebut sebesar 3.5 - 36 kPa. Zonasi ini mengindikasikan bahwa zona 1 merupakan lokasi paling aman sedangkan zona 4, 5, dan 7 merupakan zona yang membutuhkan perhatian khusus.
8. Profil *overconsolidation ratio* hasil kajian dengan kurva kompresi intrinsik dinilai berkorelasi baik dengan profil *overconsolidation ratio* dari uji CPTu. Secara keseluruhan, karakterisasi *overconsolidation ratio* serta derajat

konsolidasi lempung lunak untuk masing-masing zona diperlukan oleh karena terdapat variasi *overconsolidation ratio* lapisan lempung lunak di lokasi studi ini. Pada zona 1, kondisi tanah berupa *overconsolidated* dengan rentang OCR = 3 – 10. Pada zona 2, 3, dan 5 kondisi tanah secara keseluruhan berupa *normally consolidated* hingga *lightly overconsolidated* dengan rentang OCR = 0.8 – 3. Nilai OCR kurang dari 1 merepresentasikan lapisan-lapisan tipis yang masih bersifat *consolidating soil* dengan derajat konsolidasi berkisar antara 86% - 98%. Serupa dengan zona 2,3, dan 5, kondisi tanah secara keseluruhan pada zona 6 adalah *slightly underconsolidated to lightly overconsolidated* dengan rentang OCR = 0.8 – 3.5. Nilai OCR kurang dari 1 merepresentasikan lapisan-lapisan tipis yang masih bersifat *consolidating soil* dengan kisaran derajat konsolidasi 54% - 73%. Terakhir, tanah lempung lunak pada zona 4 dan 7 berupa tanah *underconsolidating* hingga *lightly overconsolidated* dengan rentang OCR = 0.3 – 2.0. Lapisan *underconsolidating* mendominasi pada rentang kedalaman 1.3 – 19.5 m dan 21.6 – 27.7 m dengan mayoritas derajat konsolidasi pada beberapa kedalaman tertentu berada pada angka 64% – 100%.

9. Kesesuaian antara kuat geser dari uji triaksial terhadap uji CPTu melalui metode-tegangan total  $N_{kt}$  dinilai representatif untuk setiap zona. Hal yang sama berlaku pula dengan OCR dari korelasi *intrinsic compression line* terhadap OCR sebagai fungsi  $Bq^*$  dan derajat konsolidasi terhadap kedalaman berdasarkan *effective stress concept*. Terdapat hubungan bahwa rendahnya nilai OCR dan derajat konsolidasi mengakibatkan rendahnya nilai kuat geser tak teralir.

10. Tekanan air pori eksess yang timbul akibat penusukan konus menghasilkan parameter tekanan air pori eksess ternormalisasi yang sesuai dengan teori Poulos. Dalam studi ini diperoleh rata-rata  $\Delta u/\sigma_v'$  sebesar 2.4 tanpa memperhitungkan tekanan air pori eksess residual dan 2.8 dengan tambahan tekanan air pori eksess residual. Nilai  $\Delta u/\sigma_v'$  meningkat seiring dengan meningkatnya  $Bq^*$ .

## 5.2 Saran

Meninjau kesimpulan tersebut, maka diberikan beberapa saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Melengkapi uji bor dan SPT untuk setiap zona agar interpretasi masing-masing zona dapat diperoleh secara detail dan konsisten.
2. Menggunakan *vane shear test* untuk menghasilkan nilai  $N_{kt}$  yang lebih akurat dengan rentang yang lebih sempit.
3. Melakukan uji laboratorium dengan kualitas sampel yang amat baik agar dapat dipergunakan semaksimal mungkin dalam proses karakterisasi.
4. Mengkaji pengaruh waktu terhadap derajat konsolidasi dengan dukungan data yang lebih komprehensif dan spesifik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraito, D. (2011). *Tesis Magister: Aplikasi Uji CPTu dan Dilatometer Untuk Karakterisasi Tanah Lempung Sedimen*. Bandung: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Arafianto, A., & Rahardjo, P. P. (2018). Prediction of Excess Pore Pressure Due to Pile Driving Based on CPTu. *20th SEAGC - 3rd AGSSEA Conference in conjunction with 22nd Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering*, (pp. 607-610). Jakarta.
- Arafianto, A., & Rahardjo, P. P. (2020). Site characterization for container terminal project at north coast of Jakarta city by in-situ testing. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, 1383-1390.
- Bell, F. G. (2007). *Engineering Geology* (2 ed.). Oxford: Elsevier.
- Bo, M. W., Arulrajah, A., Sukmak, P., & Horpibulsuk, S. (2015). Mineralogy and geotechnical properties of Singapore marine clay at Changi. *Elsevier*, 600-613.
- Briaud, J.-L. (2013). *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Burland, J. B. (1990). On the compressibility and shear strength of natural clays. *Geotechnique* 40 No. 3, 329-378.
- Cai, G. J., Liu, S. Y., Tong, L. Y., & Du, G. Y. (2010). Field Evaluation of Undrained Shear Strength From Piezocone Penetration Tests in Soft Marine Clay. *Marine Georesources and Geotechnology*, 143-153.

- Carter, M., & Bentley, P. S. (2016). *Soil Properties and Their Correlations* (2 ed.). Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Inc.
- Cerato, A. B., & Lutenecker, J. A. (2004). Determining Intrinsic Compressibility of Fine-Grained Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 872-877.
- Desiani, A. (2018). Kompresibilitas Tanah Organik. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha*, 14 No. 1, 26-44.
- Desiani, A., & Rahardjo, P. P. (2015). *SEMINAR BIDANG KAJIAN 2: Kajian Pengaruh Materi Organik pada Sifat Fisis Tanah*. Bandung: Program Pasca Sarjana Universitas Katolik Parahyangan.
- Dobie, M. (2014). Site Investigation of The Holocene Marine Clay of Southeast Asia Using The CPT. *Proceedings of Softsoils*.
- Dobie, M., & Wong, J. (1990). Piezocone testing: interpretation in Malaysian alluvial clays. *Seminar on Geotechnical Aspects of the North-South Expressway*, (pp. 75-85). Kuala Lumpur.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability* (2 ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hutabarat, L., Rainaldo, D., Ilyas, T., & Prakoso, W. A. (2019). Site Characterization of Marine Clay Consolidation Ratio on Kamal Muara Area, Northern Jakarta. *International Conference on Science, Technology, Infrastructure and Regional Development*. Institut Teknologi Sumatera.
- Karakouzian, M., Avar, B. B., Hudyma, N., & Mos, J. A. (2003). Field Measurements of Shear Strength of an Underconsolidated Marine Clay. *Engineering Geology* 67, 233-242.

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Bandung: Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- Locat, J., & Demers, D. (1988). Viscosity, yield stress, remolded strength, and liquidity index relationships for sensitive clays. *Canadian Geotechnical Journal* 25, 799-806.
- Look, B. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London: Taylor & Francis Group.
- Luke, K. (1996). Cone Factors from Field Vane and Triaxial Tests in Danish Soils. *Proceedings of the XII Nordic Geotechnical Conference : NGM-96* (pp. 203-208). Reykjavik: Icelandic Geotechnical Society.
- Mayne, P. (2008). Piezocone profiling of clays for maritime site investigations. *11th Baltic Sea Geotechnical Conference*. Poland: ISSMGE.
- Mayne, P., & Agaiby, S. (2019). Profiling Yield Stresses and Identification of Soft Organic Clays Using Piezocone Tests. *Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges* (pp. 220-227). International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Młynarek, Z., Wierzbicki, J., Gogolik, S., & Bogucki, M. (2014). Shear strength and deformation parameters of peat and gyttja from CPTU, SDMT and VT

- tests. *5th International Workshop : CPTu and DMT in Soft Clays and Organic Soils* (pp. 193-209). Poznan: Polish Committee on Geotechnics.
- Nugrahanto, T., Surjandari, N. S., & Mahmudah, A. (2014). Studi Perbandingan Beberapa Rumus Empiris Indeks Kompresi (Cc). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 520-526.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. Canada: Massachusetts Institute of Technology.
- Powell, J. J., & Lunne, T. (2005). Use of CPTu Data in Clays/Fine Grained Soils. *Studia Geotechnica et Mechanica*, XXVII No 3-4.
- PT. Nur Straits Engineering (NSE). (2018). *Factual Report of Geotechnical Investigation for Ground for Pulau Laut Project, South Kalimantan*. Bandung: PT. Nur Straits Engineering (NSE).
- Rahardjo, P. (1998). Site characterization for reclamation project in North Jakarta. *Geotechnical Site Characterization*, 275-280.
- Rahardjo, P. P. (2008). *Penyelidikan Geoteknik dengan Uji In-Situ*. Bandung: Geotechnical Engineering Center Universitas Katolik Parahyangan.
- Rahardjo, P. P. (2015). *Mitigation and Risk Reduction For Mud Eruption Disaster in East Java*. International Consortium on Landslides.
- Rahardjo, P. P., Anggoro, B. W., & Wirawan, A. (2016). CPTu in Consolidating Soils. *Geotechnical and Geophysical Site Characterisation 5* (pp. 363-368). Sydney: International Society For Soils Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).
- 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.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2015). *Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering* (6 ed.). California: Gregg Drilling & Testing Inc.
- Rongsadi, K. (2014). *Tesis: Evaluasi Performa / Perilaku Tanah Lunak Setelah Vacuum Preloading Dengan Menggunakan CPTu*. Bandung: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Rongsadi, K., Santoso, S., Arafianto, A., & Rahardjo, P. (2020). Evaluation of the degree of consolidation of coastal reclaimed lands based on settlement ata and CPTu. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, 1397-1404.
- Santoso, S. D. (2016). *Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan Data Uji CPTu Berdasarkan Pendekatan Tegangan Efektif*. Bandung: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Schmertmann. (1978). *Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and Design*. Washington: Federal Highway Administration.
- Sesunan, D. K. (2011). *Tesis Magister: Karakteristik Lapisan Lempung Lunak Bagendang yang Mengalami Konsolidasi pada Area Reklamasi Berdasarkan Data Uji Lapangan (CPTu dan DMT) serta Uji Laboratorium*. Bandung: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Setionegoro, N. (2013). *Disertasi Doktor: Studi Karakterisasi Lapangan Lapisan Tanah Lempung Lunak Under-Consolidating Menggunakan Hasil Uji*

- Piezocone, Disertasi Doktor*. Bandung, Indonesia: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Simons, N., & Menzies, B. (2001). *A Short Course in Foundation Engineering* (3 ed.). London: Thomas Telford Publishing.
- Skempton, A. W. (1970). The consolidation of clays by gravitational compaction. *Journal of The Geotechnical Society*, 373-411.
- Soleman, A. R. (2012). *Karakterisasi Tanah Lempung Lunak di Porong-Sidoarjo Berdasarkan Uji CPTu dan Uji Laboratorium*. Bandung: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Sukiman, N. A., & Yakin, Y. A. (2017). Analisis Deformasi dan Tekanan Air Pori Ekses pada Tanah Lempung Lunak akibat Beban Timbunan. *Reka Racana: Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 3, 1-12.
- Sumarlin, B. (2011). *Tesis Magister: Evaluasi Perilaku Tanah Lunak Berdasarkan Data Instrumentasi Geoteknik, Uji In-situ, dan Hasil Uji Laboratorium pada Reklamasi Pantai di Project Eastkal Supply Base Penajam, Paser Utara, Kalimantan Timur*. Bandung: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- TC, K. (1976). Formation and geotechnical characteristics of glacial-lake varved soils. *Laurits Bjerrum Mem Vol, eds N Janbu, F Jorsted & B Kjaernsli* (pp. 15-39). Oslo: Norwegian Geotechnical Institute.
- Wei, L., Pant, R., & Tumay, M. (2010). Evaluation of undrained shear strength of soft New Orleans clay using piezocone. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*. Huntington Beach, CA, USA.

- Widjaja, B. (2010). Undrained Shear Strength and Compressibility at Liquid Limit. *Proceedings of First Makassar International Conference on Civil Engineering (MICCE2010)*. Makassar.
- Widodo, S., & Ibrahim, A. (2012). Estimation of Primary Compression Index (Cc) Using Physical Properties of Pontianak Soft Clay. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2232-2235.
- Wu, B., Wang, G., Li, J., Wang, Y., & Liu, B. (2018). Determination of the Engineering Properties of Submarine Soil Layers in the Bohai Sea Using the Piezocone Penetration Test. *Advances in Civil Engineering*.
- Yakin, Y. A. (2003). *Karakterisasi Tanah Lunak dan Analisis Perilaku Embankment di Pantai Utara Semarang, Tesis Magister*. Bandung: Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Yakin, Y. A. (2003). *Tesis Magister: Karakterisasi Tanah Lunak dan Analisis Perilaku Embankment di Pantai Utara Semarang*. Bandung: Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

