

Hubungan Sifat Indeks dan Sifat Mekanis Tanah Lempung Sedimen di Kawasan Industri JIPE - Gresik

Dimas Anggraito¹, Surya Hermawan², Felix Apriyanto³, Daniel Steven³, Jason Fernaldi³, Jescey Edlin P³

¹Mahasiswa Program Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra

²Dosen Program Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra

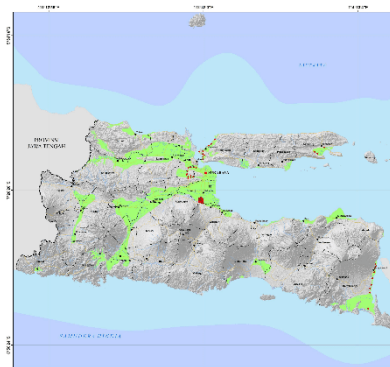
³Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

Email: shermawan@petra.ac.id (korespondensi)

Timbunan pada tanah lunak sering mengalami kegagalan daya dukung dan pemampatan sebelum mencapai umur rencana. Untuk mempercepat dan menghemat biaya, digunakan hubungan dengan sifat indeks tanah yang lebih mudah ditentukan. Tujuan studi ini adalah untuk mengungkapkan hubungan antara sifat fisis dan mekanis tanah serta memahami kemampuan lapisan tanah dasar dalam menerima pembebanan. Parameter mekanis seperti kekuatan dan kompresibilitas tanah sering digunakan untuk menghitung kemampuan ini, termasuk perkiraan deformasi tanah. Pekerjaan pendahuluan melalui data-data sekunder, seperti persamaan empiris yang telah ada dan informasi dari Peta Geologi, digunakan sebagai acuan untuk melakukan penyelidikan tanah. Studi ini menghasilkan grafik hubungan antara indeks kecairan dan kuat geser tanah dalam bentuk persamaan fungsi eksponensial, yaitu $su (kN/m^2) = 1/(-0.022) \cdot CR^{0.0024}$. Dapat disingkat menjadi $052+0.10LI0$. Semakin tinggi indeks kecairan menyebabkan penurunan kuat geser tanah. Kadar air dan rasio kompresi berkorelasi positif secara linier. ($CR = 0.276$). Hasil data ($0024wn+0.022$) lebih rendah dari persamaan empiris yang pernah ada, membuat estimasi penurunan konsolidasi cenderung lebih rendah. Persamaan empiris dengan sifat indeks dapat memprediksi sifat mekanis tanah, berguna untuk estimasi dan kontrol pendahuluan penyelidikan tanah.

Pendahuluan

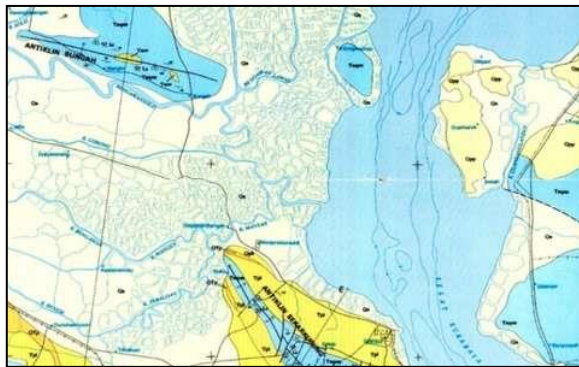
Luas penyebaran tanah lunak di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 20 juta hektar atau setara 10 persen dari luas total daratan Indonesia [1]. Tanah lunak sering kali menimbulkan permasalahan dalam konstruksi akibat rendahnya kemampuan daya pikul tanah yang diikuti terjadinya deformasi dikemudian hari, bahkan sebelum tercapainya umur rencana [2]. Peta sebaran tanah lunak di Provinsi Jawa Timur tersaji melalui Gambar 1 mencatatkan kompresibilitas tinggi dengan rentang indeks kompresibilitas yang cukup luas antara 0.14 – 0.99 [1]. Untuk kepentingan perencanaan pengembangan wilayah/ pembangunan infrastruktur yang lebih detail diperlukan adanya penyelidikan yang lebih rinci sehingga diperoleh karakteristik tanah sebagai dasar untuk mendukung analisis perencanaan suatu konstruksi [1]. Data-data penyelidikan tanah melalui pemboran yang disertai dengan uji penetrasi standar dan uji CPTu yang dilengkapi dengan batu pori untuk mengukur tekanan air pori selama proses pengujian berlangsung. Disamping itu, juga dilengkapi dengan pengujian tanah di laboratorium dikumpulkan dari beberapa lokasi yang berada di Kawasan Ekonomi Khusus Teknologi & Manufaktur JIPE di Gresik, Jawa Timur.



Gambar 1. Peta Sebaran Tanah Lunak Provinsi Jawa Timur

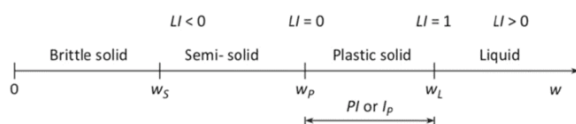
Berdasarkan informasi Peta Geologi lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa , kawasan ini terbentuk akibat proses sedimentasi pada masa Quarter tersusun oleh endapan Alluvial berupa bahan/ berbutir halus, dengan lempung/ lanau merupakan bahan utama [3], yang memiliki sifat lepas dan sangat mudah tertekan, dilanjutkan oleh pasir dan lanau, setempat mengandung pecahan kulit kerang [4]. Kawasan ini dilintasi aliran anak sungai Bengawan Solo yang bermuara pada lautan di Selat Surabaya, sehingga lapisan-lapisan tanah permukaan yang terbentuk merupakan endapan oleh erosi ataupun transportasi air

yang mempengaruhi nilai kekuatan dan kompresibilitas tanah [5]



Gambar 2. Lokasi tinjauan dan Peta Geologi lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa (1992).

Kuat geser tanah merupakan salah satu aspek yang mempengaruhi stabilitas fondasi, kestabilan lereng, perancangan dinding penahan tanah sampai perkerasan jalan [6]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat hubungan antara kuat geser tanah dan indeks kecairan yang merupakan fungsi dari kadar air dan batas-batas Atterberg seperti batas cair dan batas plastis [7][8][9]. Definisi dari batas cair adalah suatu kondisi dimana kadar air tanah tertentu mengalami perubahan dari kondisi plastis menjadi kondisi cair, sementara untuk batas plastis merupakan nilai kadar air tanah terendah dimana tanah mulai bersifat plastis [10], hubungan antara kadar air untuk batas-batas Atterberg [11] disajikan melalui Gambar 3. Indeks kecairan menggambarkan proporsi keberadaan tanah dalam kondisi mendekati cair ataupun plastis, dengan persamaannya berikut ini.



Gambar 2. Batasan Kadar air untuk batas-batas Atterberg

$$LI = \frac{w_n - P_L}{L_L - P_L} \quad (1)$$

Berikutnya, korelasi empiris antara kuat geser dan indeks kecairan dari beberapa penelitian disampaikan melalui Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Korelasi Empiris Untuk Kuat Geser dan Indeks Kecairan

Jenis Tanah	Korelasi	Batas an	Referensi
Clayey soils in Mexico and North Sea	$S_u = 1.70 \times 10^{2(1-LI)}$	-	Wroth & Woos (1978) [12]
Marine and Lacustrine clays in Eastern Canada	$S_u = 1 / ((LI - 0.21)^2)$	$0.5 < L < 2.5$	Leroueil et al. (1983) [13]
Subaerial dan submarine fine grained soil in Canada	$S_u = (1.167/LI)^{2.44}$	$1.5 < L < 6.0$	Locat and Demers (1988) [14]
All Soils	$S_u = 1.7 \times 34.3^{(1-LI)}$	-	Vardanega and Haigh (2014) [15]
Fine grained soils in West Java, Indonesia	$S_{u(CH)} = 2.28 \times 69^{(1-LI)}$ $S_{u(CL)} = 15.30 \times 17^{(1-LI)}$	$0 < LI < 1$	Hutabarat et al (2019) [16]

Karakteristik tanah berikutnya merupakan parameter pemampatan, yang akan berdampak pada deformasi tanah dasar, seperti nilai indeks kompresi, angka pori dan riwayat tegangan, yang diperoleh dari hasil pengujian tanah di laboratorium. Hubungan indeks kompresi dengan rasio kompresi perlu untuk dilakukan secara eksperimental, dimana kedua parameter tersebut diatas memiliki persamaan berikut ini.

$$CR = \frac{c_c}{1 + e_0} \quad (2)$$

Hasil dari beberapa studi terdahulu yang menyampaikan hubungan antara rasio kompresi dan kadar air tanah ditabulasikan melalui Tabel II dibawah ini.

Tabel 2. Korelasi Empiris Untuk Rasio Kompresi dan Kadar Air

Jenis Tanah	Korelasi	Referensi	
Marine clays of Southeast Asia	CR= 0.0043 wn	Azzouz et al. (1976)	[18]
Clays from Greece & part of US	CR= 0.003 (wn+7)	Azzouz et al. (1976)	[18]
Bangkok Clays	CR= 0.0039 wn + 0.013	Balasubramaniam and Brenner (1981)	[19]
Indiana clays	CR= 0.0249 + 0.003 wn	Loa and Lovell (1982)	[20]
Clays and organic soils in Danish	CR= 0.54 ((2n-9)/(wn +75))	Andersen, J.A. (2012)	[17]

Tulisan ini bertujuan untuk mengungkapkan hubungan antara kuat geser tanah dan indeks kecairan, maupun rasio kompresi terhadap kadar tanah. Parameter fisis dan mekanis saling berkaitan pada perencanaan maupun perancangan suatu konstruksi dalam kemampuan daya pikul lapisan tanah dasar dalam menerima beban timbunan. Data ini nantinya dapat diperoleh estimasi awal dari penurunan konsolidasi yang terjadi di kemudian hari.

Metode

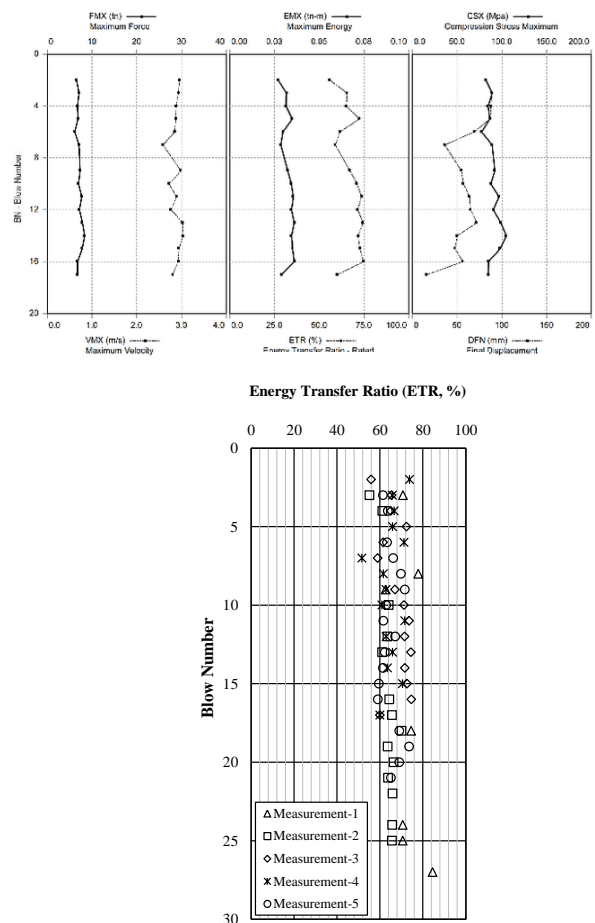
A. Pemboran dan Uji Penetrasi Standard

3 titik pemboran dengan *core drilling* dilakukan, kedalamannya mencapai 50 m untuk deskripsi visual. Uji penetrasi standar (SPT) dilakukan dalam interval kedalaman 2 meter untuk mengungkapkan perlawanan lapisan tanah. Dokumentasi pelaksanaan dan hasil pekerjaan dgn interval kedalaman 10 m melalui Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Dokumentasi pelaksanaan pemboran dan uji penetrasi standart beserta contoh pelapisan tanah

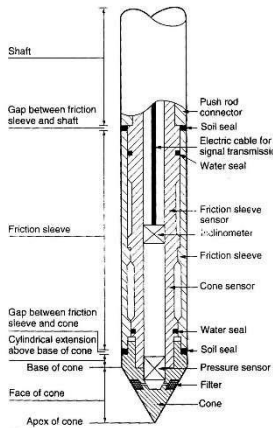
Untuk menstandarkan nilai N yang diperoleh dari hasil uji penetrasi standard dan penyeragaman dari energy hammer yang digunakan, maka dilakukan pengukuran energi hammer *Standard Penetration Test* (SPT) dengan hasil akhir dari pengukuran energy hammer *Standard Penetration Test* (SPT) berupa nilai rasio transfer energi (ETR, *Energy Transfer Ratio*), dengan hasilnya disampaikan melalui Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengukuran Energy Hammer SPT dan Nilai Rasio Tranfer Energy untuk Tipe Hammer yang Digunakan Saat Pengujian

B. Uji CPTu

Sebanyak 4 titik uji CPTu dilakukan untuk mengungkapkan perlawanan tanah terhadap tekanan konus, lekatan total, dan tekanan air pori. Alat CPTu Geomill memiliki konus dilengkapi sensor qc, fs, dan u untuk mengukur tahanan ujung, gesekan selimut dan tekanan air pori. Dilengkap dengan depth synchroniser, interface box, kabel transmisi, dan PC Notebook.



Gambar 6. Peralatan Uji dan Sketsa Konus Uji CPTu

Seperti halnya sondir mekanis, konus CPTu tersebut dipasang pada ujung batang baja. Semua inner rod yang biasa digunakan sebagai alat transmisi tekanan dari ujung bikonus ke manometer dikeluarkan, sebagai gantinya kabel CPTu dimasukkan kedalam rod tersebut. Interpretasi parameter tanah yang dihasilkan dari uji CPTu dipengaruhi oleh kualitas pembacaan tekanan air pori, untuk itu menjaga agar filter yang terletak di belakang tip konus dalam keadaan jenuh sangat diperlukan. Dokumentasi pelaksanaan pengujian lapangan diberikan melalui Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Tipekal Alat Penekan Konus Dengan Sistem Hidraulik dan Dokumentasi Pengujian CPTu Dilapangan

C. Pengujian Laboratorium

Pengujian Laboratorium dilakukan terhadap contoh tanah tak terganggu yang bertujuan untuk mengungkapkan parameter tanah dasar meliputi indeks properties dan parameter mekanis. Untuk jenis tanah berbutir halus, 3 (tiga) nilai kadar air tanah (kadar air alami, batas plastis dan batas cair) dapat memberikan gambaran mengenai perilaku tanah yang diuji. Secara umum, pengujian index properties meliputi pengujian berat isi, berat jenis, kadar air termasuk penetapan batas-batas Atterberg. Sementara hasil analisa ayakan dan hydrometer yang lebih ditujukan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran butirannya, antara tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

(a) Kadar air Tanah





(b) Batas Cair Tanah



(c) Batas Plastis Tanah



(c) Berat isi Tanah



(d) Batas Jenis Tanah



(e) Analisa Saringan



(f) Uji Hidrometer

Gambar 8. Dokumentasi Pelaksanaan Uji Sifat-Sifat Fisis di Laboratorium



(a) Uji Kuat Geser



Konsolidasi

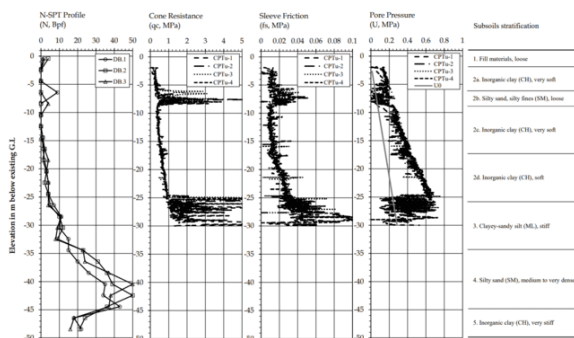
(b) Uji

Gambar 9. Dokumentasi Pelaksanaan Pengujian Kekuatan dan Pemampatan Tanah Laboratorium

Hasil Kerja/Analisa

A. Penyelidikan Lapangan

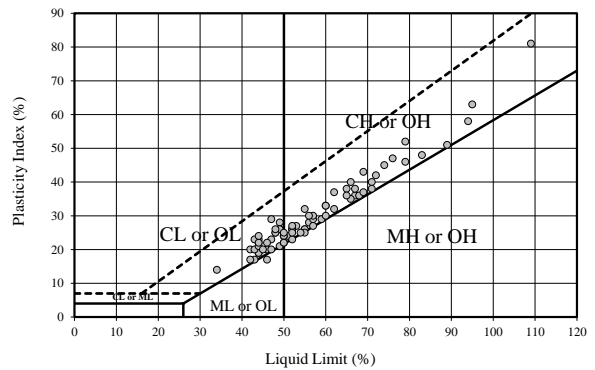
Hasil penyelidikan lapangan melalui pemboran yang disertai dengan pengujian penetrasi standart berikut data hasil pengujian CPTu yang disajikan secara berdampingan disampaikan melalui Gambar 10. Berdasarkan profil data pengujian lapangan diatas, hasil yang diperoleh cukup konsisten antara satu dengan yang lainnya, kondisi lapisan tanah lempung berkonsistensi amat lunak yang didapati hingga elevasi -25.0 m dari permukaan tanah asal, bahkan pasir berlanau yang didapati oleh hasil pemboran pada elevasi -6.0 hingga -8.5 m juga dapat terdeteksi dari hasil pengujian CPTu. Pengujian CPTu terhenti pada lebih kurang pada elevasi -30 m dari permukaan tanah asal, dengan kondisi lapisan tanah kedalaman akhir berupa lanau berpasir dan berlempung dengan konsistensi sedang hingga teguh. Berikutnya, terlihat dari hasil pemboran lapisan tanah pendukung yang stabil dan kokoh berupa pasir berlanau didapati mulai dari elevasi -38.0 m hingga -45.0 m.



Gambar 10. Profil nilai N-SPT (Bpf), Perlawanan Konus (qc, Mpa), Gesekan Selimut (fs, Mpa) dan Tekanan Air Pori (U, Mpa)

B. Pengujian Laboratorium

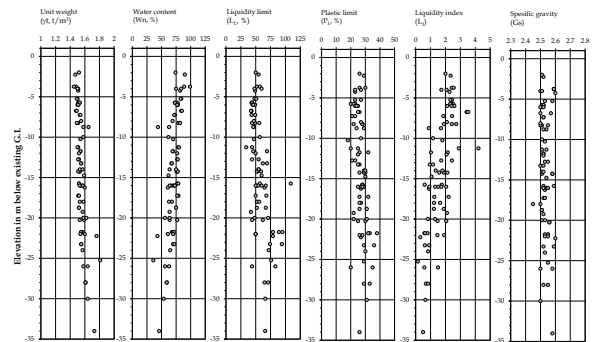
Pengujian indeks properties yang dilakukan terhadap contoh-contoh tanah dalam kondisi tak terganggu mencakup pengujian berat isi, berat jenis, kadar air termasuk penetapan batas-batas Atterberg, analisa ayakan dan hydrometer. Distribusi batas cair (LL, %) dan indeks plastisitas (IP, %) dalam diagram plastisitas Casagrande disampaikan melalui Gambar 11, dimana jenis lapisan tanah yang diuji lebih didominasi



oleh tanah berbutir halus berupa lempung dengan tingkat plastisitas antara medium hingga tinggi.

Gambar 11. Klasifikasi Contoh Tanah yang Diuji Pada Diagram Plastisitas Casagrande

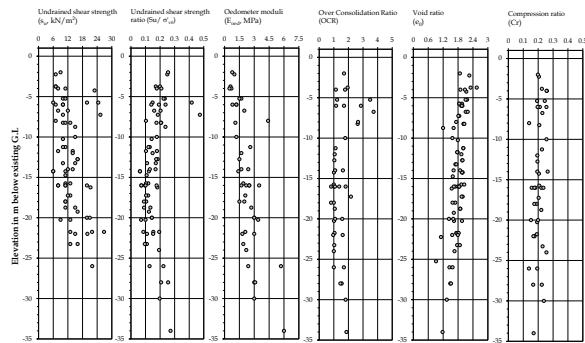
Sementara itu, profil parameter fisis yang lainnya berupa berat isi, kadar air, batas cair, batas plastis, indeks kecairan dan berat jenis diberikan melalui Gambar 12.



Gambar 12. Profile Parameter Fisis Tanah

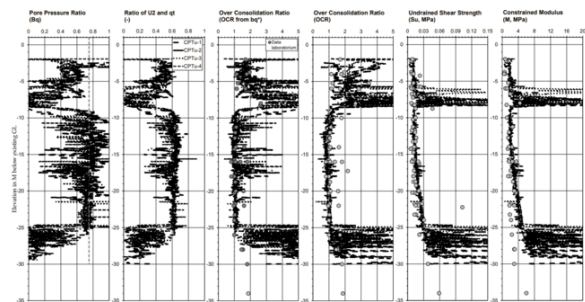
Profile indeks kecairan mengungkapkan hasil yang cukup konsisten dengan profile perlawanan tanah, semakin rendah perlawanan tanah akan memiliki indeks kecairan yang tinggi. Untuk lapisan tanah lempung dengan konsistensi amat lunak ~ lunak, memiliki berat isi tanah mulai dari 1.46 hingga 1.55 t/m³, dengan nilai kadar air sebesar 55 hingga 90% dan indeks kecairan antara 1.50 ~ 4.40. Berikutnya, parameter kuat geser tanah tak terdrainase (su, kN/m²) dan rasionya terhadap tegangan (su/σ'v0) termasuk parameter kekakuan tanah (Eoed, MPa) yang diperoleh dari hasil pengujian konsolidasi diberikan melalui Gambar 13. Rata-rata rasio kuat geser tanah tak teralir yang dihasilkan berkisar 0.17. Sifat tanah terhadap

kemampuan berubah volume saat menerima tegangan tambahan di ilustrasikan melalui uji konsolidasi. Beberapa parameter mekanis tanah yang dihasilkan dari uji ini disampaikan melalui Gambar 13.



Gambar 13. Profile Parameter Mekanis Tanah

Untuk lapisan tanah lempung amat lunak ~ lunak, riwayat tegangan (OCR) yang dihasilkan bernilai <1, mengindikasikan bahwa kondisi lapisan tanahnya masih dalam tahap berkonsolidasi. Perbandingan hasil uji laboratorium terutama parameter mekanis tanah terhadap interpretasi hasil pengujian CPTu berupa kuat geser tanah, modulus tanah dan riwayat pembebanan (OCR) disajikan melalui Gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14. Perbandingan Hasil Uji Laboratorium dan Interpretasi Hasil Pengujian CPTu

Riwayat tegangan (OCR) didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan prakonsolidasi (Pc) terhadap tekanan vertikal efektif (P0'). Dengan mengetahui nilai OCR, maka dapat menempatkan lapisan tanah dalam pengklasifikasikan riwayat tegangan. Kulhawy and Mayne (1990) mengusulkan persamaan untuk memperkirakan riwayat tegangan melalui perumusannya berikut ini.

$$OCR = k \times (q - \sigma'_{v0} / \sigma'_{v0}) \quad (3)$$

Koefisien k pada persamaan diatas berada diantara 0.20 - 0.50, dengan nilai yang disarankan sebesar 0.33. Selanjutnya, Rahardjo dkk (2018) mengembangkan rasio tekanan air pori bintang (Bq*) untuk memperkirakan riwayat tegangan, dengan persamaannya berikut ini.

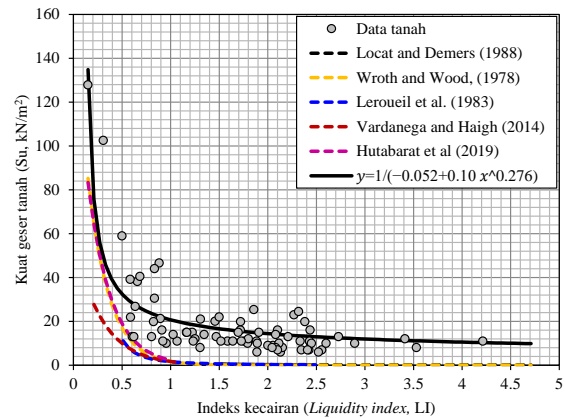
$$OCR = 10 (1.002 - 1.57 \times Bq^*) \quad (4)$$

Koefisien Bq* merupakan rasio antara tekanan air pori (u2) terhadap perlawanan ujung terkoreksi (qt). Apabila rasio tekanan air pori bintang (Bq*) bernilai ≥ 0.65, mengindikasikan bahwa lempung tsb. masih berkonsolidasi, sementara nilai Bq* ≈ 0.65 mengindikasikan bahwa lempung dalam kondisi terkonsolidasi normal (NC) dan bila Bq* bernilai < 0.65 mengindikasikan bahwa lempung telah mengalami konsolidasi berlebih (OC).

C. Hubungan Sifat Indeks Tanah dan Mekanis Tanah

Hubungan sifat indeks dan mekanis tanah dilakukan dalam studi ini, dimana hubungan antara kuat geser tanah dan indeks kecairan pada lokasi studi ini diperlihatkan melalui Gambar 15 dibawah ini, termasuk perbandingannya dengan studi terdahulu. Indeks kecairan yang diperoleh dari hubungan hubungan antar batas-batas Atterberg, mencerminkan konsistensi lapisan tanah, dimana semakin tinggi nilai indeks kecairan kuat geser akan semakin rendah, hal ini diperkirakan akibat pengaruh kadar air tanah. Hubungan antara indeks kecairan dan kuat geser tanah dipeoleh grafik fungsi eksponensial, dengan persamaannya berikut ini.

$$S_u = 1 / (-0.052 + 0.10 LI^{0.276}) \quad (5)$$

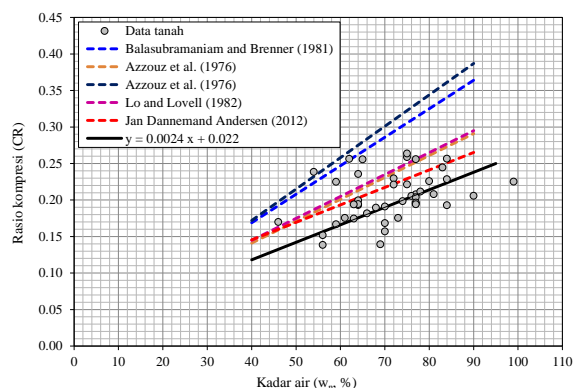


Gambar 15. Hubungan antara indeks kecairan (Liquidity Indeks,LI) dan kuat geser tanah (Su, kN/m²)

Hubungan sifat fisis dan mekanis tanah berikutnya berupa rasio kompresi terhadap kadar air tanah, yang mengungkapkan peningkatan nilai kadar air tanah akan diikuti dengan bertambahnya rasio kompresi dalam hubungan yang linier dengan persamaan dibawah ini.

$$CR = 0.0024 \times w_n + 0.022 \quad (6)$$

Grafik hubungan antara kadar air dan rasio kompresi dalam hubungan yang linier termasuk perbandingan dengan data lainnya disajikan melalui Gambar 16 berikut ini.



Gambar 16. Grafik Hubungan Antara Kadar Air Tanah (w_w , %) dan Rasio Kompresi (CR)

Kesimpulan

Persamaan-persamaan empiris yang memakai sifat indeks untuk memprediksi sifat mekanis tanah memberikan hasil yang berguna sebagai pekerjaan pendahuluan untuk estimasi awal dan dapat digunakan sebagai kontrol terhadap hasil penyelidikan tanah yang ada. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, diperoleh hubungan antara indeks kecairan dan kuat geser tanah berupa grafik fungsi eksponensial, dimana semakin tinggi indeks kecairan maka terjadi penurunan kuat geser tanah, dengan persamaan eksponensial yang dihasilkan sedikit tinggi dibandingkan dengan penelitian yang sudah ada. Dengan mengetahui hubungan ini, maka dapat diperoleh informasi pendahuluan berupa kemampuan lapisan tanah dasar didalam menerima rencana beban kerja, yang dapat direfleksikan menjadi batas aman tinggi timbunan agar tidak terjadi kegagalan daya dukung, sekaligus memperoleh gambaran mengenai potensi penurunan konsolidasi yang terjadi.

Studi ini menghasilkan grafik hubungan antara indeks kecairan dan kuat geser tanah dalam bentuk persamaan fungsi eksponensial, yaitu su (kN/m^2) = $1/(-0.101I_0)$. Dapat disingkat menjadi $0.52+0.10I_0$. Semakin tinggi indeks kecairan menyebabkan penurunan kuat geser tanah. Kadar air dan rasio kompresi berkorelasi positif secara linier. ($CR = 0.276$). Hasil data ($0.0024w_w+0.022$) lebih rendah dari persamaan empiris yang pernah ada, membuat estimasi penurunan konsolidasi cenderung lebih rendah. Persamaan empiris dengan sifat indeks dapat memprediksi sifat mekanis tanah, berguna untuk estimasi dan kontrol pendahuluan penyelidikan tanah.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Profesi Insinyur Universitas Kristen Petra dan

Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra dan pihak-pihak yang memberi dukungan dalam penulisan maupun memberikan data, sehingga dapat menjadi bahan referensi dalam penulisan makalah ini.

Referensi

- 1 Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia, edisi pertama, Badan Geologi, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (2019): 1-16.
- 2 Hasriana, L. Samang, T. Harianto, and M. N. Djide, *Bearing capacity improvement of soft soil subgrade layer with Bio Stabilized Bacillus Subtilis*, MATEC Web of Conferences (2010)
- 3 Peta Geologi bersistem Indonesia lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa (1992), Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- 4 J. E. Bowles, Sifat Geologi, Pembentukan Deposit Tanah Alamiah dan Air, dalam Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), edisi ke-2, Jakarta, Indonesia, bab 3, bagian 3-12 (1993), 93-97
- 5 Handayani, *Karakteristik Tanah Lempung Sedimen Berdasarkan Uji In-Situ di Kawasan Industri JIPE – Gresik*, dalam *Proceeding 26th Annual National Conference on Geotechnical Engineering*, 8 – 9 November 2022, Indonesia,(2022): 197 – 202
- 6 R.D. Holtz, W.D. Kovacs, and T.C. Sheahan, *An introduction to Geotechnical Engineering*, Pearson, New York (1981): 490,
- 7 B. Kuriakose, B. M. Abraham, A. Sridharan & T.J. Babu, *Water Content Ratio: An Effective Substitute for Liquidity Index for Prediction of Shear Strength of Clays*, Geotechnical and Geological Engineering, volume 35 (2017): 1557 – 1586
- 8 G.M. Hutabara , Identifikasi Hubungan antara Kuat Geser Tanah dan Indeks Kecairan Tanah Butir Halus di Provinsi Jawa Barat, Parahyangan Catholic University (2019).
- 9 H.B. Nagaraj, M.V.Sravan, and B.S. Deepa, *Factors Influencing Undrained Shear Strength of Fine-grained Soils at High Water Contents*, Geomechanics and Geoengineering: An International Journal 13(4) (2018): 276–87
- 10 K.Terzaghi,R.B. Peck, and G.Mesri, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, New York (1996)
- 11 J.Ameratunga, N.Sivakugan, and M.Das Braja, *Correlation of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*, Springer India. New Delhi (2016).
- 12 C.P. Wroth and D.M.Wood, The correlation of Index Properties with Some Basic Engineering Properties, Canadian Geot. Journal 15(2) (1978): 137–145
- 13 S.Leroueil., F.Tavenas. and J.P. Le Bihan, *Propriétés caractéristiques des argiles de l'est du Canada*, Canadian Geotechnical Journal, 20(4) (1978): 681–705
- 14 Locat, J., and Demers, D., Viscosity, Yield Stress, Remolded Strength and Liquidity Index Relationships for Sensitive Clays, Canadian Geotechnical Journal, 25(4) (1988): 799–806.
- 15 P.J. Vardanega and S.K.Haigh, *The undrained strength – liquidity index relationship*, Canadian Geot. Journal 51(9) (2014): 1073–86.
- 16 G.M. Hutabarat and B. Widjaja, Correlation of Undrained Shear Strength and Liquidity Index of Fine-Grained Soils in West Java Indonesia, Proceedings of TICATE (2019).

- 17 J.A. Anderson, Design parameters and modelling - Prediction of compression ratio for clays and organic soils, Proceedings of the 16th Nordic Geotechnical Meeting Copenhagen (2012),
- 18 A.S. Azzouz., R. J. Krizek, and R. B. Corotis, *Regression Analysis of Soil Compressibility, Soils and Foundations*, Canadian Geotechnical Journal 16(2) (1976): 19–29.
- 19 Balasubramaniam and Brenner, *Consolidation and Settlement of Soft Clay*, Soft Clay Engineering, New York, Chapter – 7, 1993 (1981)
- 20 Loa and Lovell (1982), *Prediction of Soil Properties from Simple Indices*, Transportation Research Record 873 (1982): 43 – 49,
- 21 P.P. Rahardjo, B.W.Anggoro, Y.A. Yakin Y.A, H. Darmawan, H.,. *Determination of the Degree of Consolidation of Reclaimed Site on Deep Soft Mahakam Deltaic Soils using CPTu*, Proceeding of the Fourth International Symposium in Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Atlanta, 22-24 September 2008, Atlanta Georgia (2008):883-889.
- 22 P.P. Rahardjo,, B.W. Anggoro, A.Wirawan, *CPTu in Consolidating Soils*, Proceeding of Geotechnical and Geophysical Site Characterisation 5 – Lehane, Acosta-Martinez & Kelly (Eds) © 2016 Australian Geomechanics Society, Sydney, Australia,(2016) ISBN 978-0-9946261-1-0
- 23 P.K. Robertson., K.L. Cabal., *Guide Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering*, 6th Edition, Gregg Drilling & Testing, Inc (2015).
- 24 N. Setionegoro, *Research on the Characterization of Consolidating Soils (in Indonesian)*, Ph.D. Dissertation submitted to the Graduate School, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia. (2015)