

Pengaruh Koefisien N_k Terhadap Kuat Geser Tanah Lunak Gedebage Berdasarkan Uji CPTu

Asriwiyanti Desiani^{[1]*}, Daud R. Wiyono^[1], Adrian Pramono^[1]

^{[1]*} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 40164, Indonesia

Email: asriwiyanti.desiani@eng.maranatha.edu *, daud.rw@eng.maranatha.edu

*) Correspondent Author

Received: 23 May 2023; Revised: 21 August 2023; Accepted: 28 August 2023

How to cited this article:

Desiani, A., Wiyono, D., Pramono, A., (2024). Pengaruh Koefisien N_k Terhadap Kuat Geser Tanah Lunak Gedebage Berdasarkan Uji CPTu. Jurnal Teknik Sipil, 20(1), 30–42. <https://doi.org/10.28932/jts.v20i1.6194>

ABSTRAK

Alat uji lapangan *Cone Penetration Test* (CPT) yang biasa kita sebut sondir telah banyak digunakan di Indonesia. Namun penggunaan *Cone Penetration Test* dengan pengukuran air pori (CPTu) belum digunakan secara luas, karena itu penelitian ini akan dilakukan secara langsung di lapangan (*in situ*) menggunakan alat CPTu. Pengujian *in-situ* memiliki keunggulan antara lain parameter tanah yang diperoleh pada kondisi tegangan yang sesungguhnya di lapangan, data yang diperoleh bersifat kontinu sepanjang kedalaman dan dapat mengatasi masalah pengambilan sampel ataupun ketergangguan sampel. Lokasi penelitian berada pada kawasan Gedebage Bandung yang saat ini mengalami perkembangan yang luar biasa. Tanah pada kawasan tersebut merupakan tanah lunak yang pada umumnya memiliki kuat geser rendah. Penentuan kuat geser lempung (S_u) merupakan rasio *net cone resistance* dan faktor konus (N_{kt}). Penelitian lebih mendalam terhadap koefisien N_{kt} dalam evaluasi kuat geser tanah lunak berdasarkan data hasil uji CPTu akan di verifikasi menggunakan uji laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan koefisien N_{kt} yang sesuai untuk kawasan Gedebage adalah 13-15. Rentang parameter kuat geser hasil uji laboratorium dan hasil uji CPTu di lapangan adalah sebagai berikut: kedalaman 0-10m $S_u > 25$ kPa, kedalaman 10-25m S_u berkisar 10 kPa dan kedalaman 25-31m $S_u > 100$ kPa.

Kata kunci: CPTu, Kuat Geser, Tanah Lunak,

ABSTRACT. *Effect of Coefficient N_k on Gedebage Soft Soil Shear Strength Based on CPTu Test.* *Cone Penetration Test field instrument, also commonly referred to as sondir, has been commonly used in Indonesia. However, the usage of Cone Penetration Test in combination with pore water measurement (CPTu) is not yet used widely, which is why this research is conducted in situ by using CPTu instrument. In situ testing has a few advantages, such as: soil parameters are obtained under actual stress conditions, continuous data can be obtained along the depth of soil, and it overcomes sampling problems or sample interferences. Location of this research is in Gedebage area of Bandung which currently undergoes major development. Soil in the area are soft soils which commonly have low shear strength. Soft clay shear strength (S_u) can be determined by the ratio of net cone resistance and conus factor (N_{kt}). Further research on N_{kt} coefficient on soft soil shear strength evaluation based on CPTu test results are going to be verified by using laboratory testing. The research shows that N_{kt} coefficient which are suitable for Gedebage area ranges from 13 - 15. Range of shear strength parameter based on the laboratory test and in situ CPTu test calculations are as the following: depth of 0-10 m $S_u > 25$ kPa, depth of 10 - 25m S_u is around 10 kPa, and depth of 25 - 31m $S_u > 100$ kPa.*

Keywords: CPTu, Shear Strength, Soft Soil.

1. PENDAHULUAN

Pengujian *in situ* memiliki keunggulan antara lain parameter tanah yang diperoleh pada kondisi tegangan yang sesungguhnya di lapangan, data yang diperoleh bersifat kontinu sepanjang kedalaman dan dapat mengatasi masalah pengambilan sampel ataupun ketergangguan sampel. Uji *in situ* yang sederhana seperti *vane shear test* dapat digunakan untuk memberi indikasi kuat geser *in situ*. Kesempatan untuk mengembangkan alat uji *in situ* untuk mencari parameter kuat geser dan kompresibilitas masih terbuka lebar (Desiani, 2018). Alat uji *in situ* yang digunakan dalam penelitian ini adalah CPTu. CPTu adalah alat uji tahanan konus yang diberi instrumentasi khusus, lalu dimasukkan ke dalam tanah untuk mendapatkan pembacaan nilai tahanan konus (q_c), *sleeve-friction* (f_s) dan tekanan air pori (u).

Alat ini didukung dengan kelengkapan berupa *depth synchroniser*, *computer interface box*, kabel transmisi dan PC *Notebook*. Selama pengujian sensor-sensor yang terletak di dalam konus dan *depth-synchroniser* akan menghasilkan sinyal-sinyal yang kemudian ditransmisikan melalui kabel menuju alat yang disebut *interface box*. *Interface box* kemudian mengolah sinyal-sinyal tersebut menjadi data *output* yang dapat dilihat di komputer dengan bantuan suatu *software* dalam bentuk grafik yang memperlihatkan hubungan antara tahanan ujung (q_c), gesekan selimut (f_s), dan tekanan air pori (u) terhadap kedalaman. Hasil pengujian CPTu dapat diinterpretasi terhadap jenis tanah, berat volume tanah, koefisien lateral tanah, kuat geser tanah dan kompresibilitas tanah.

Pengukuran tahanan ujung yang amat rendah pada tanah lunak dan pengukuran tekanan air pori eksis menggunakan CPTu dapat menghasilkan nilai yang tepat, sesuai kondisi tegangan *in situ*, cepat dan ekonomis. Penelitian ini akan difokuskan pada koefisien N_{kt} yang digunakan untuk menentukan parameter kuat geser berdasarkan uji CPTu. Hasil kuat geser yang didapat akan diverifikasi menggunakan hasil uji laboratorium Triaxial.

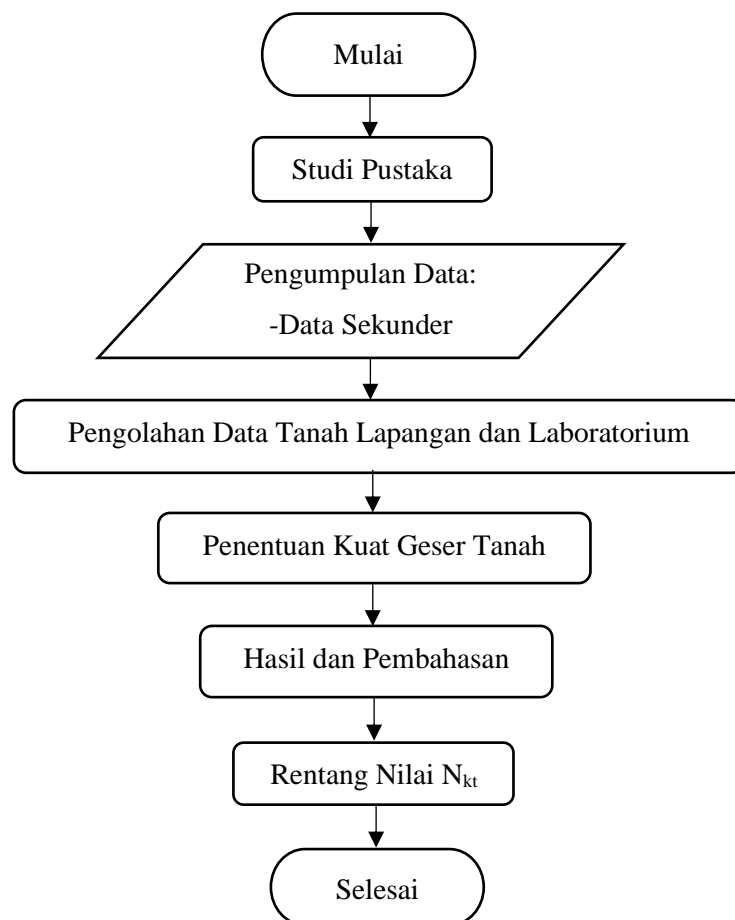
(Mayne et al., 2015) mengevaluasi faktor konus N_{kt} menggunakan alat CPTu untuk kuat geser *undrained* tanah lempung. Nilai faktor N_{kt} memiliki rentang dari 8 – 25 pada tanah lunak lepas pantai, tanah lunak daratan, sampai lempung teguh, dan nilai N_{kt} menurun sejalan dengan meningkatnya nilai B_q . (Rémai, 2013) meneliti korelasi kuat geser *undrained* dan tahanan CPT, pada tanah lempung lunak Holocene. Dari 22 sampel diperoleh nilai N_{kt} bervariasi antara 10,5 – 27,6, dengan nilai rata-rata 18,6. Studi pada 3 data CPTu tanah lempung di darat dan 11 tanah lempung di lepas pantai oleh (Low et al., 2010) menemukan rentang $8,6 \leq N_{kt} \leq 15,3$ dengan rata-rata N_{kt} 11,9. (Lunne et al., 2005) merekomendasikan nilai $N_{kt} = 12$ untuk kuat geser *undrained*.

Sebagai konsekuensi dari ketidakpastian yang disebutkan di atas dan kurangnya panduan untuk memilih N_{kt} , diperlukan penelitian terkait faktor N_{kt} pada tanah-tanah lempung lunak di Indonesia. Penelitian ini bertujuan menentukan koefisien N_{kt} dalam evaluasi kuat geser tanah

lunak berdasarkan data hasil uji CPTu yang akan di verifikasi menggunakan uji laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan koefisien N_{kt} yang sesuai untuk kawasan Gedebage adalah 13-15. Rentang parameter kuat geser hasil uji laboratorium dan hasil uji CPTu di lapangan adalah sebagai berikut: kedalaman 0-10m $S_u > 25$ kPa, kedalaman 10-25m S_u berkisar 10 kPa dan kedalaman 25-31m $S_u > 100$ kPa.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini mengikuti alur seperti pada Gambar 1. Kuat geser tanah ditentukan melalui uji lapangan CPTu dengan nilai N_{kt} yang bervariasi kemudian diverifikasi dengan uji laboratorium Triaxial UU. Pengumpulan data sekunder dilakukan pada lokasi kawasan Gedebage Bandung. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 yang meliputi lokasi titik bor dan lokasi CPTu. Terdapat 4 pengujian CPTu dan 6 titik bor. Standar pengujian geoteknik yang digunakan meliputi ASTM D-5778-95 untuk *Piezcone Test* (CPTu), ASTM D-1587-83 untuk pengambilan contoh tanah tidak terganggu.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Lokasi Titik Bor dan Titik CPTu

2.1. Kuat Geser Tanah Lunak

Rumus kekuatan geser tanah yang dipergunakan secara umum ditunjukkan pada persamaan berikut (Chan & Law, 2006; Rahardjo, 2004):

$$s = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \quad (1)$$

Atau

$$s = c' + \sigma'\tan\phi' \quad (2)$$

Keterangan:

- s = kuat geser atau perlawanan geser
- c' = kohesi menurut keadaan tegangan efektif
- u = tekanan air pori pada bidang geser
- σ = tegangan normal total pada bidang geser
- σ' = tegangan normal efektif pada bidang geser
- ϕ' = sudut ketahanan geser menurut keadaan tegangan efektif.

Berikut ketentuan secara umum menurut (Wesley, 2013) dalam menentukan nilai c' dan ϕ' yang ditunjukkan pada Tabel 1.

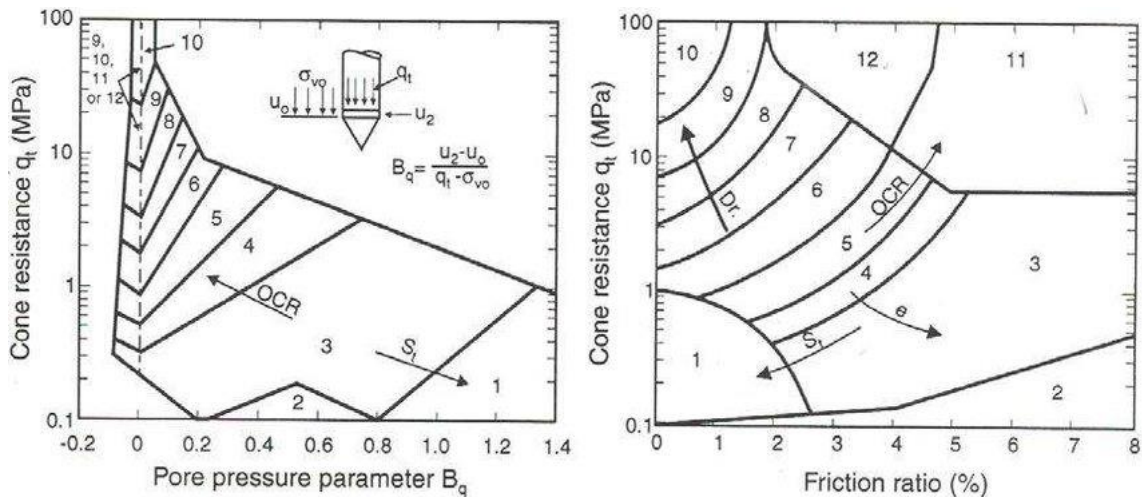
Tabel 1. Nilai-Nilai Biasa Kohesi Efektif, c'

Jenis Tanah	Kohesi Efektif, c' (kPa)
Lempung lunak, terkonsolidasi normal	Umumnya mendekati nol, tetapi dapat mencapai 10 kPa
Lempung sedang hingga kaku, termasuk tanah residu dengan Su berkisar antara 70-hingga 150 kPa	Sekitar 10 hingga 25 kPa
Lempung kaku hingga keras, terutama lempung terkonsolidasi berlebihan	Sekitar 25 hingga 100 kPa
Lempung yang dipadatkan	Umumnya antara 12 dan 25 kPa

Sumber: (Wesley, 2013)

2.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan CPTu

Klasifikasi terhadap jenis tanah secara detail dapat dilakukan dengan menggunakan chart dari Robertson. (Robertson & Campanella, 1983) membuat dua chart yang dapat digunakan untuk pengklasifikasian jenis tanah. Chart penentuan jenis tanah yang pertama berdasarkan nilai tahanan ujung konus terkoreksi (q_t) dengan nilai *friction-ratio*, % (R_f) yang merupakan perbandingan antara tahanan selimut konus (f_s) dengan tahanan ujung konus (q_c) sedangkan grafik yang kedua berdasarkan q_t dan nilai B_q . Profil pelapisan tanah dapat diketahui melalui grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Klasifikasi Tanah dari Data CPTu (Robertson & Campanella, 1983)

Parameter q_t merupakan koreksi tahanan ujung konus terhadap tekanan air pori (u_2) yang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut

$$q_t = q_c + (1 - a)u \quad (3)$$

Keterangan :

q_c : Nilai tahanan konus

a : Faktor koreksi (0,6-0,9)

u_2 : Tekanan air pori 2

B_q adalah perbandingan antara tekanan air pori ekses dengan tahanan ujung konus yang telah dikoreksi seperti pada persamaan berikut ini

$$B_q = \frac{\Delta u}{q_t - \sigma_v} \quad (4)$$

Keterangan :

B_q : Nilai tahanan konus

Δu : Tekanan air pori ekses

q_t : Nilai tahanan ujung konus terkoreksi

σ_v : Tegangan vertikal tanah

2.3. Interpretasi CPTu Terhadap Karakteristik S_u

Interpretasi CPTu terhadap karakteristik kuat geser tanah (*undrained shear strength* (S_u)) diestimasi menggunakan formula pada persamaan 5 yang telah terpublikasi sebagai berikut

$$S_u = (q_c - \sigma) / N_{kt} \quad (5)$$

Keterangan :

S_u = Kuat geser tak terdrainase

q_c = Tahanan ujung sondir

σ = Tegangan total tanah

N_{kt} = 15-20 (Begemann)

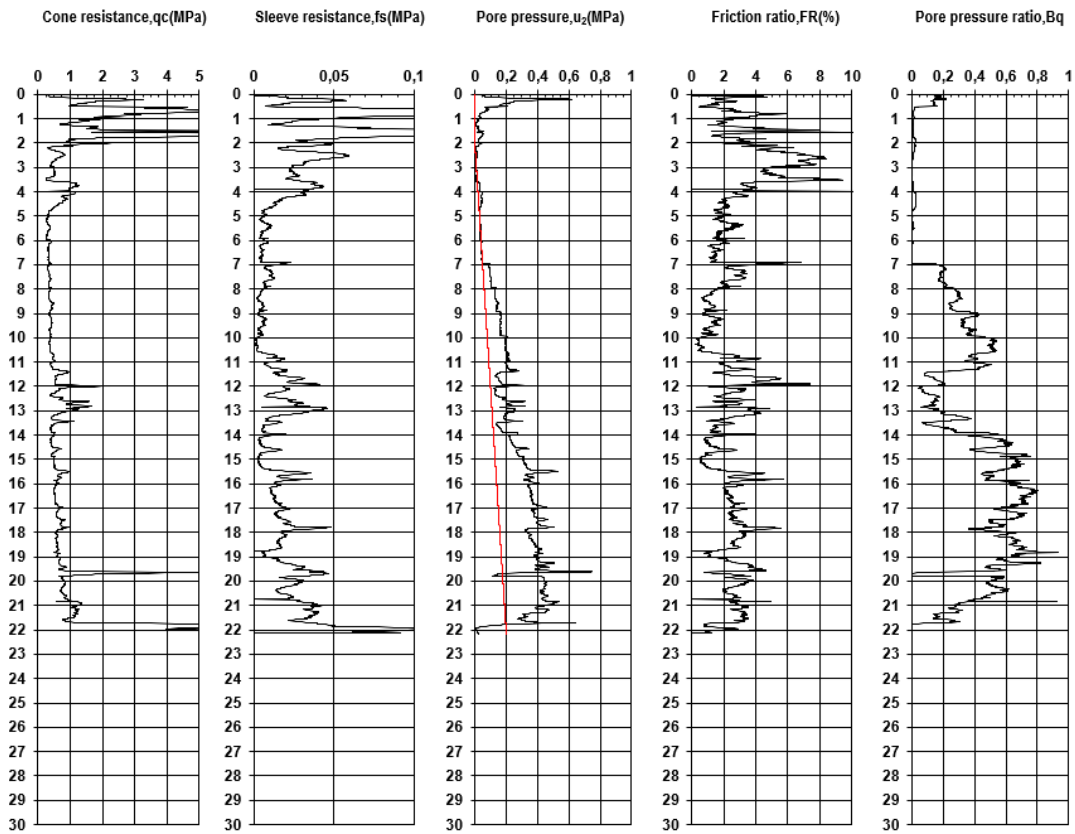
Perkembangan selanjutnya pada hubungan di atas diteliti oleh (Bjerrum & Anderson, 1972), ternyata nilai N_{kt} bervariasi antara 9-21. Tetapi bilamana harga S_u dari uji *Vane Shear* dikoreksi dengan indeks plastisitasnya seperti yang ditunjukkan oleh (Bjerrum & Anderson, 1972) maka rentang harga N_k semakin kecil dengan rata-rata sama dengan 15.

3. HASIL DAN DISKUSI

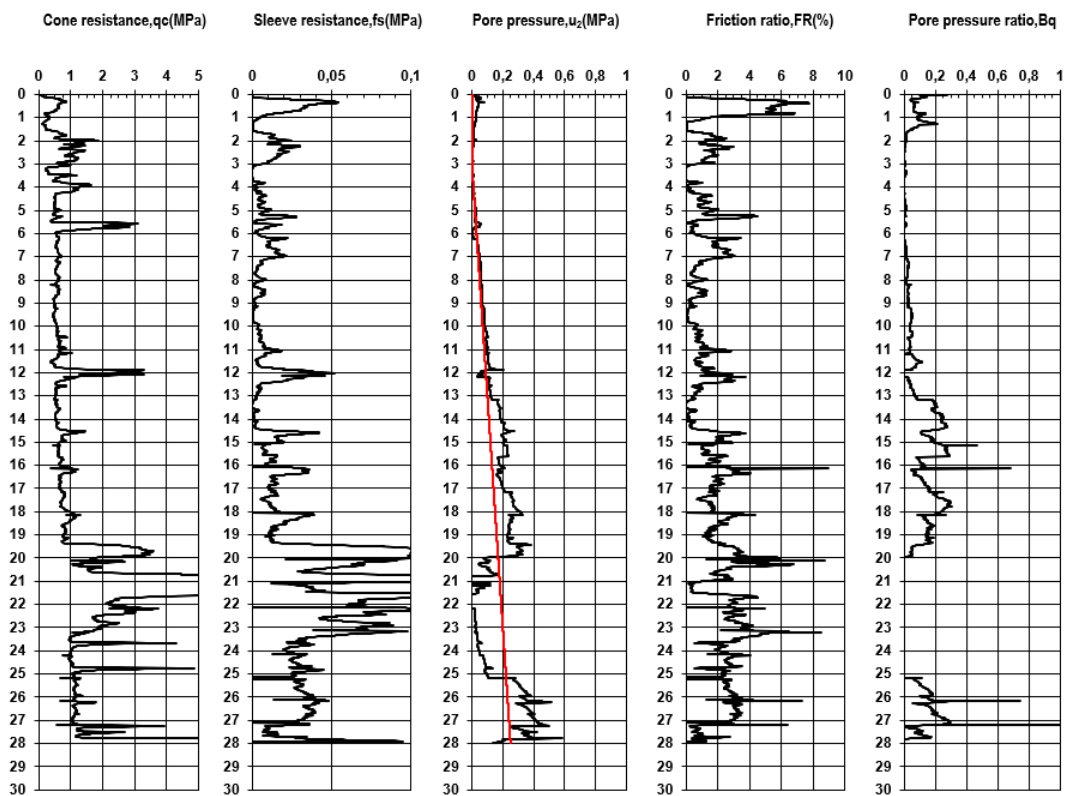
3.1. Hasil Data CPTu

Data CPTu didapatkan melalui pengujian yang dilakukan di lapangan oleh PT. GEC seperti terlihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 7 (Desiani, 2017). Terdapat 4 CPTu yang akan digunakan untuk analisis karakteristik kuat geser. Data yang didapatkan dari hasil CPTu berupa nilai q_c untuk setiap sentimeter kedalaman, tahanan selimut (f_s), tekanan air pori (u_2), perbandingan hasil q_c dengan f_s (FR) dan rasio tekanan pori (B_q).

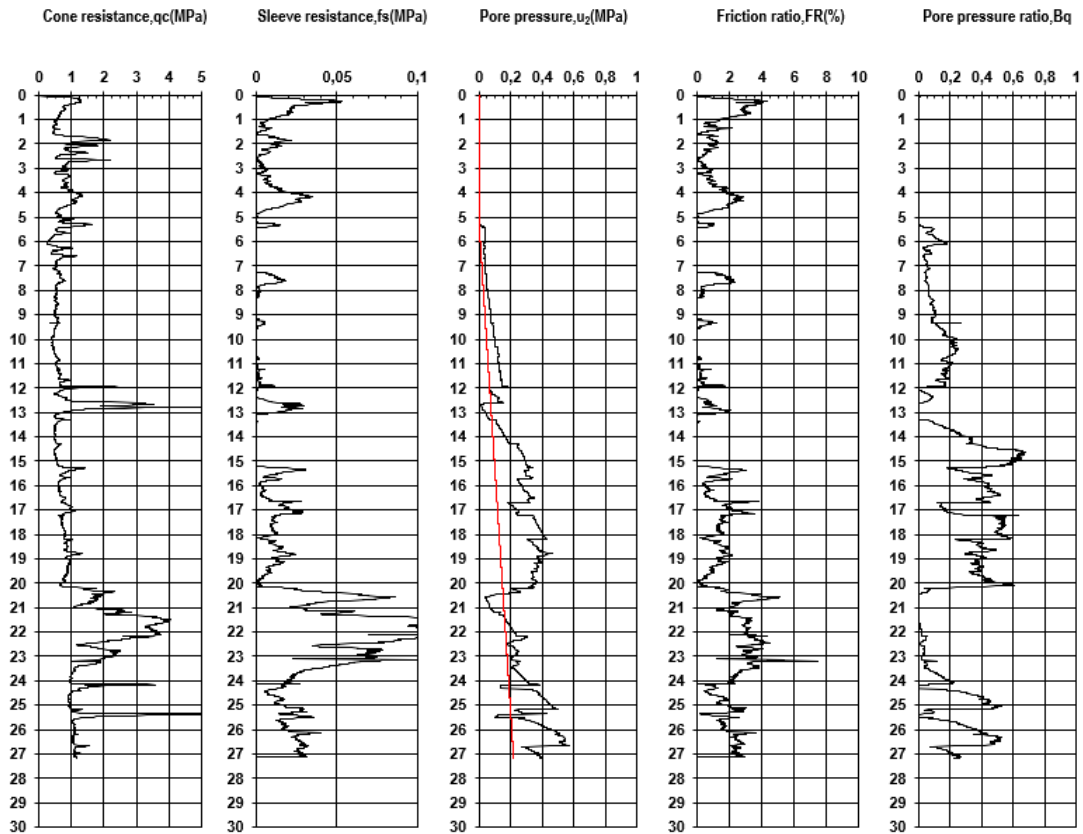
Hasil CPTu-01 terlihat berbeda dari 3 CPTu yang lain, dimana pada kedalaman 0,00-2,00 meter nilai q_c mencapai 5 MPa. Hal ini memperlihatkan bahwa pada area tersebut terdapat timbunan. Nilai pore pressure, u_2 pada kedalaman tersebut mencapai 0,6 MPa. Hal ini menguatkan bahwa pada lokasi uji CPTu-01 terdapat timbunan.



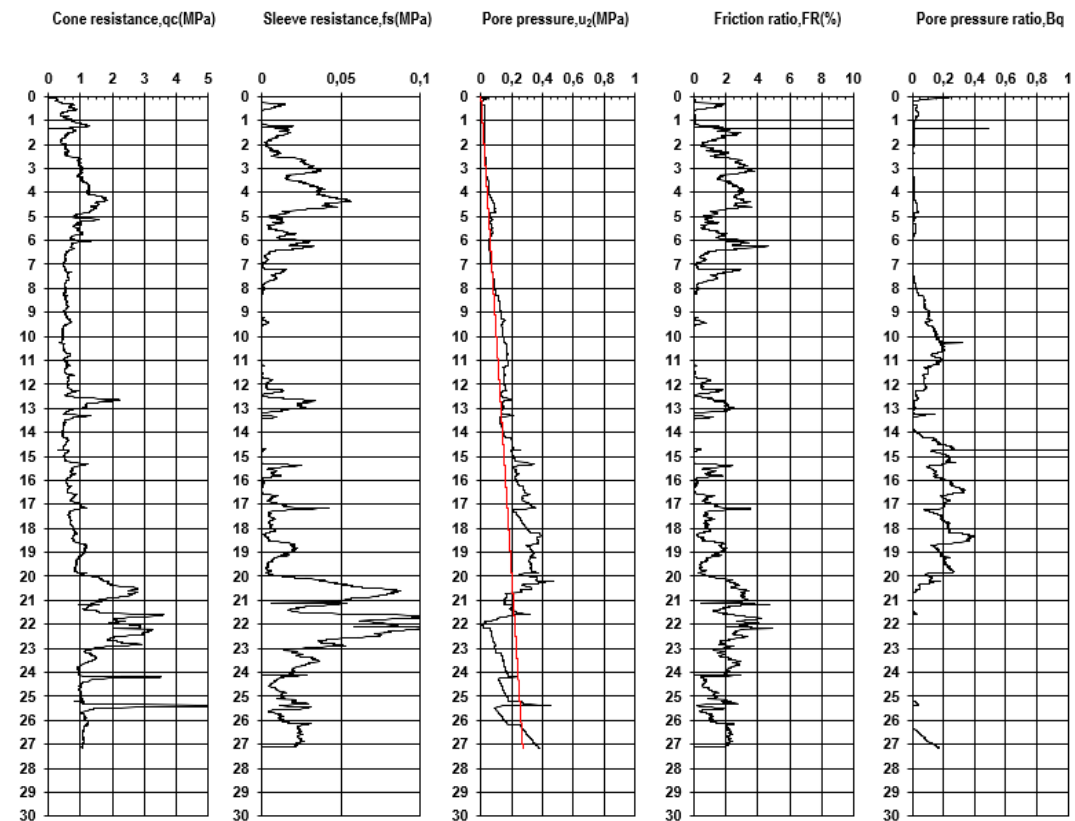
Gambar 4. Hasil Uji CPTu-01



Gambar 5. Hasil Uji CPTu-02



Gambar 6. Hasil Uji CPTu-03

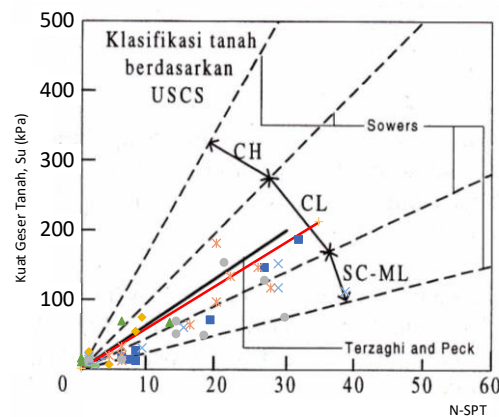


Gambar 7. Hasil Uji CPTu-04

Keempat pengujian CPTu memperlihatkan hasil yang cukup konsisten, dimana nilai qc berkisar antara 0,25 – 0,5 MPa untuk kedalaman 2 - 20 m. Nilai fs juga cukup konsisten sebesar 0,01 MPa sampai kedalaman 20 m. Tekanan air pori terlihat meningkat mulai dari kedalaman 6 m. Nilai B_q mendekati 0 sampai dengan kedalaman 20 m.

3.2. Data Laboratorium

Data laboratorium yang akan digunakan untuk memverifikasi hasil korelasi kuat geser CPTu adalah data *Triaxial Unconsolidated Undrained (TX-UU)*. *Undrained shear strength (S_u)* didapatkan dengan menggunakan persamaan $S_u = C_u + \sigma'_v \times \tan \phi_u$ untuk memobilisasi adanya nilai sudut geser undrained (ϕ_u). Nilai S_u yang didapatkan dari hasil uji laboratorium dikorelasikan dengan nilai N-SPT dari hasil pemboran didapatkan korelasi $S_u = 6 \times N\text{-SPT}$ (kPa) seperti pada Gambar 8.

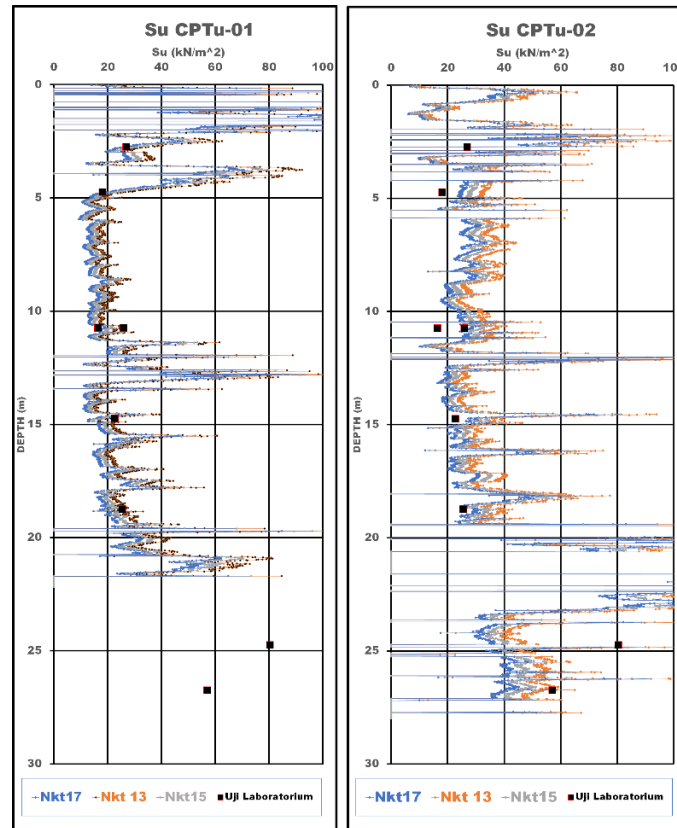


Gambar 8. Korelasi antara S_u dengan N-SPT (Terzaghi and Peck, 1967; Sowers, 1979)

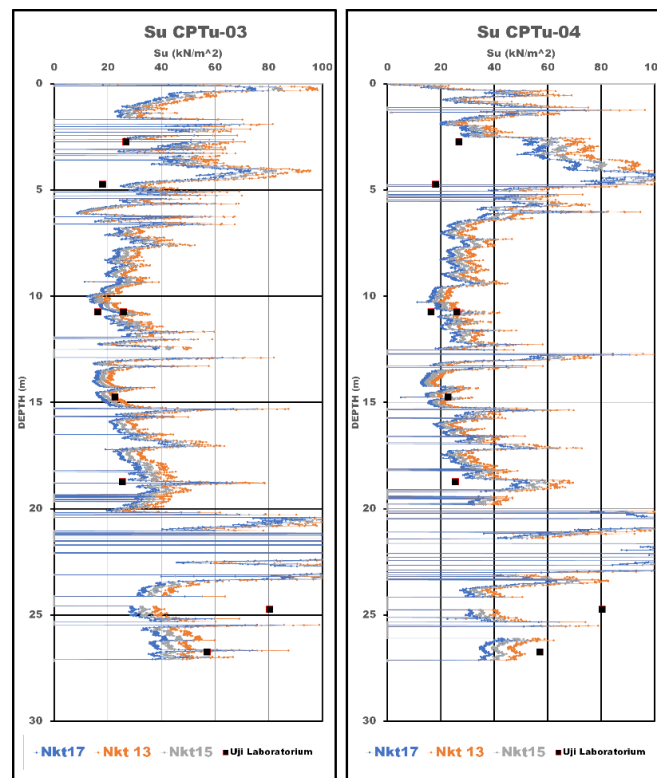
3.3. Pengaruh koefisien N_{kt} terhadap Kuat Geser

Data CPTu-01, CPTu-02, CPTu-03, dan CPTu-04 diolah dan diinterpretasi menjadi kuat geser tanah (S_u). Faktor konus, N_{kt} yang digunakan divariasikan dengan $N_{kt}=13$, $N_{kt}=15$, dan $N_{kt}=17$. Kuat geser tanah berdasarkan hasil laboratorium diplot bersamaan dengan hasil korelasi kuat geser tanah dari CPTu terhadap kedalaman dan dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.

Kuat geser uji CPTu-01 dengan N_{kt} 13, 15, dan 17 dibandingkan terhadap plot kuat geser hasil laboratorium memperlihatkan pada kedalaman 0,00- 15,00 meter nilai N_{kt} yang mendekati adalah N_{kt} 13. Kuat geser uji CPTu-02 dengan N_{kt} 13, 15, dan 17 dibandingkan terhadap plot kuat geser hasil laboratorium memperlihatkan pada kedalaman 0,00- 20,00 meter nilai N_{kt} yang mendekati adalah N_{kt} 13.



Gambar 9. Hubungan Kuat Geser Uji CPTu -01 dan CPTu -02 dengan Kedalaman

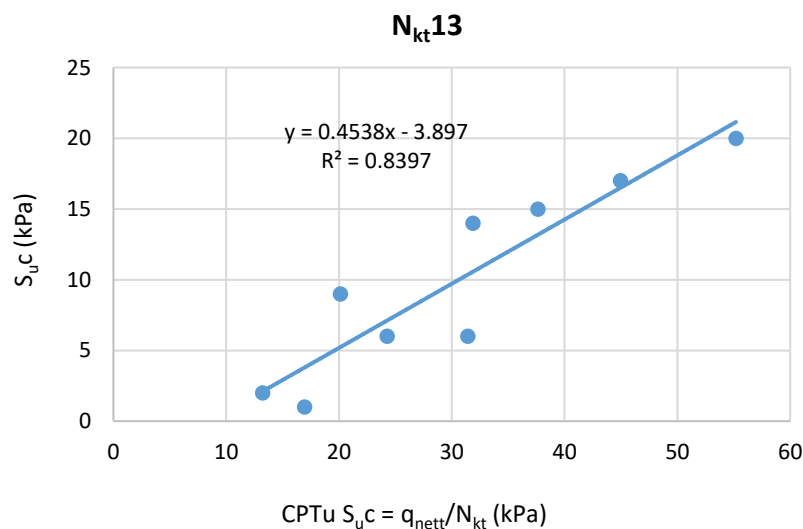


Gambar 10. Hubungan Kuat Geser Uji CPTu -03 dan CPTu -04 dengan Kedalaman

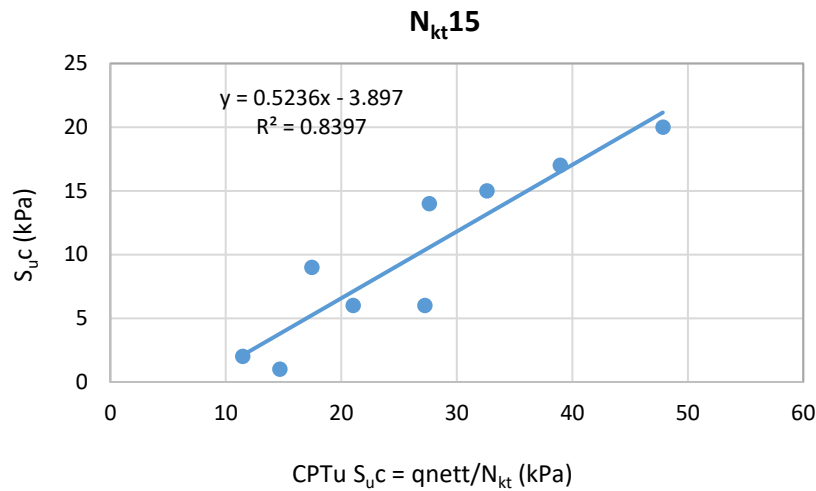
Kuat geser uji CPTu-03 dengan N_{kt} 13, 15, dan 17 dibandingkan terhadap plot kuat geser hasil laboratorium memperlihatkan pada kedalaman 0.00- 20.00 meter nilai N_{kt} yang mendekati adalah N_{kt} 13. Kuat geser uji CPTu-04 dengan N_{kt} 13, 15, dan 17 dibandingkan terhadap plot kuat geser hasil laboratorium memperlihatkan pada kedalaman 0.00- 20.00 meter nilai N_{kt} yang mendekati adalah N_{kt} 13. Maka dapat disimpulkan bahwa kuat geser hasil laboratorium sesuai dengan kuat geser dari CPTu menggunakan $N_{kt}=13$.

Data kuat geser dari uji CPTu-01 sampai dengan CPTu-04 pada kedalaman yang sama dengan kuat geser laboratorium diplot dan ditentukan keandalannya untuk masing-masing N_{kt} . Pada Gambar 11 dapat dilihat hubungan kuat geser CPTu dengan kuat geser laboratorium untuk N_{kt} 13. Persamaan korelasi adalah $S_{u\ lab} = 0,4538S_{u\ CPTu} - 3,897$ dengan nilai keandalan 0,8397, telah mendekati 1. Pada Gambar 12 dapat dilihat hubungan kuat geser CPTu dengan kuat geser laboratorium untuk N_{kt} 15. Persamaan korelasi adalah $S_{u\ lab} = 0,5236S_{u\ CPTu} - 3,897$ dengan nilai keandalan 0,8397, telah mendekati 1. Pada Gambar 13 dapat dilihat hubungan kuat geser CPTu dengan kuat geser laboratorium untuk N_{kt} 17. Persamaan korelasi adalah $S_{u\ lab} = 0,5996S_{u\ CPTu} - 3,7798$ dengan nilai keandalan 0,8295, telah mendekati 1.

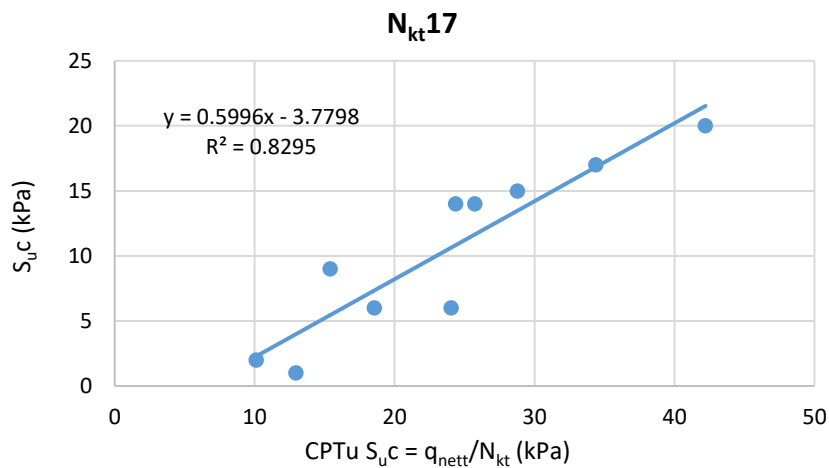
Korelasi Kuat Geser Uji CPTu dengan Kuat Geser Laboratorium pada $N_{kt}=13$ dan $N_{kt}=15$ memiliki keandalan $R^2 = 0,8397$. Sedangkan nilai keandalan untuk $N_{kt}=17$ lebih kecil dengan $R^2 = 0,8295$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor konus, N_{kt} yang sesuai untuk digunakan pada tanah lunak Gedebage adalah pada rentang 13-15.



Gambar 11. Hubungan Kuat Geser Uji CPTu dengan Kuat Geser Laboratorium pada N_{kt} 13



Gambar 12. Hubungan Kuat Geser Uji CPTu dengan Kuat Geser Laboratorium pada N_{kt} 15



Gambar 13. Hubungan Kuat Geser Uji CPTu dengan Kuat Geser Laboratorium pada N_{kt} 17

4. SIMPULAN

Berdasarkan kajian terhadap hasil pengujian CPTu dan laboratorium, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat Geser berdasar interpretasi CPTu terlihat konsisten terhadap hasil uji laboratorium.
2. Koefisien N_{kt} yang menghasilkan kuat geser CPTu yang konsisten dengan kuat geser laboratorium ada pada rentang 13-15.
3. Karakteristik kuat geser (S_u) berdasarkan uji CPTu di daerah Gedebage pada kedalaman 0,00-20,00 m berkisar 25 kPa, pada kedalaman 20,00- 25,00 m mencapai 100 kPa.
4. Alat CPTu dapat digunakan untuk memperoleh parameter kuat geser S_u dengan hasil cukup baik, cepat dan ekonomis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Maranatha, sebagai pemberi dana penelitian. Artikel ini merupakan bagian dari luaran penelitian pendanaan internal Skema A Tahun Anggaran 2020 Universitas Kristen Maranatha, Bandung. Penghargaan setinggi-tingginya disampaikan pula pada PT GEC, atas diperkenankannya penggunaan data CPTu.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bjerrum, L., & Anderson, K. H. (1972). In-situ Measurement of Lateral Pressures in Clay. *Norwegian Geotechnical Institute Publ*, 91.
- Chan, D. H., & Law, K. T. (2006). *Soft Soil Engineering: Proceedings of the Fourth International Conference on Soft Soil Engineering, Vancouver, Canada, 4-6 October 2006*. CRC Press.
- Desiani, A. (2017). *Karakterisasi Tanah Lunak Cekungan Bandung Berdasarkan Uji in situ*. Unpar.
- Desiani, A. (2018). Kompresibilitas Tanah Organik. In *Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 14).
- Low, H. E., Lunne, T., Andersen, K. H., Sjursen, M. A., Li, X., & Randolph, M. F. (2010). Estimation of Intact and Remoulded Undrained Shear Strengths from Penetration Tests in Soft Clays. *Géotechnique*, 60(11), 843–859.
- Lunne, T., Randolph, M. F., Chung, S. F., Andersen, K. H., & Sjursen, M. (2005). Comparison of Cone and T-bar Factors in Two Onshore and One Offshore Clay Sediments. *Frontiers in Offshore Geotechnics*, 981–989.
- Mayne, P. W., Peuchen, J., & Baltoukas, D. (2015). Piezocone Evaluation of Undrained Strength in Soft to Firm Offshore Clays. *Frontiers in Offshore Geotechnics III: Proceedings of the 3rd International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics (ISFOG 2015)*, 1, 1091–1096.
- Rahardjo, P. P. (2004). *Soft Soil Engineering (Lecture Notes)*. Parahyangan Catholic University.
- Rémai, Z. (2013). Correlation of Undrained Shear Strength and CPT Resistance. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 57(1), 39–44. <https://doi.org/10.3311/PPci.2140>
- Robertson, P. K., & Campanella, R. G. (1983). Interpretation of Cone Penetration Tests. Part I: Sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), 718–733.
- Wesley, L. D. (2013). Residual Soils and The Teaching of Soil Mechanics. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 3479–3482.