

PENENTUAN PARAMETER KEKUATAN GESER TANAH DENGAN UJI PENETRASI STANDAR DAN BATAS ATTERBERG DENGAN UJI TRIAXIAL DI BOYOLALI

I Gusti Putu Yoga Putra Perdana¹, Yusep Muslih Purwana², Bambang Setiawan³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: yoga.putra@student.uns.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: ymuslih@yahoo.com

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: bbstw88@yahoo.com

ABSTRACT

Soil investigations often encounter limitations which result in the unavailability of the data needed for building design. These limitations could be in the form of geographical conditions, time, human resources, etc. Previous researchers have studied the relationship between various soil parameters to determine other parameters for civil building design. In the construction project of the railway line between Solo Balapan Station and Adie Soemarmo Airport Station, the engineering team carried out a fairly comprehensive soil investigation on the soil in Boyolali. This study examines the relationship between the results of field testing, namely the standard penetration test and the results of the Atterberg's limit test with the results of the undrained-unconsolidated Triaxial test. This study also determined the value of the soil shear strength parameter using an empirical approach. The empirical approach in question is to use Terzaghi-Peck tables and graphs, Schezy-Varga tables, Stroud formulas and Skempton-Northey charts. Interpretation of the relationship between N_{60} and c_u results in a fairly good distribution of data and logic with a positive slope, but the majority of the data are not in the empirical correlation range. Interpretation of the relationship between LI and c_u results in a fairly good distribution of data and logic with a negative slope, but the majority of the data are not within the empirical correlation range. Comparison between the correlation of test data results with the results of determination using empirical correlation there is a significant difference where a lot of data does not match and is quite far from the estimate using empirical equations, tables or graphs. There is no empirical correlation that can represent soil conditions in Boyolali.

Keywords: Soil shear strength, standard penetration test, SPT, Atterberg's limit, correlation

ABSTRAK

Penyelidikan tanah seringkali menemui batasan-batasan yang menyebabkan tidak tersedianya data yang dibutuhkan dalam perencanaan bangunan di atasnya. Batasan-batasan tersebut dapat berupa kondisi geografis, waktu, SDM, dsb. Para peneliti sebelumnya telah mempelajari hubungan antara berbagai parameter tanah untuk menentukan parameter lain yang dibutuhkan dalam perencanaan bangunan sipil. Pada proyek pembangunan jalur kereta api antara Stasiun Solo Balapan dan Stasiun Bandara Adie Soemarmo, tim teknis melakukan penyelidikan tanah yang cukup komprehensif di tanah di Boyolali. Studi ini mempelajari hubungan antara hasil pengujian lapangan yaitu uji penetrasi standar dan hasil pengujian batas-batas Atterberg dengan hasil pengujian Triaxial tak terdrainasi-tak terkonsolidasi (*Undrained-Unconsolidated*). Pada studi ini juga dilakukan penentuan nilai parameter kuat geser tanah menggunakan pendekatan empirik. Pendekatan empirik yang dimaksud adalah dengan menggunakan tabel dan grafik Terzaghi-Peck, tabel Schezy-Varga, formula Stroud dan grafik Skempton-Northey. Interpretasi hubungan antara N_{60} dan c_u menghasilkan sebaran data dan kelogisan yang cukup baik dengan kemiringan yang positif, namun mayoritas data tidak berada dalam rentang korelasi empirik. Interpretasi hubungan antara LI dan c_u menghasilkan sebaran data dan kelogisan yang cukup baik dengan kemiringan yang negatif, namun mayoritas data tidak berada dalam rentang korelasi empirik. Perbandingan antara korelasi hasil data pengujian dengan hasil penentuan menggunakan korelasi empirik terdapat perbedaan yang cukup signifikan dimana banyak data yang tidak cocok dan cukup jauh dari perkiraan menggunakan persamaan, tabel atau grafik empirik. Sehingga tidak terdapat korelasi empirik yang dapat mewakili kondisi tanah di Boyolali.

Kata kunci: kuat geser tanah, uji penetrasi standar, SPT, batas-batas Atterberg, korelasi

1. PENDAHULUAN

Perencanaan struktur bangunan memerlukan data-data tanah sesuai dengan dimana struktur tersebut akan dibangun. Penyelidikan tanah adalah upaya untuk memperoleh data-data tanah yang diperlukan dalam perencanaan struktur bangunan tersebut. Terdapat berbagai macam metode penyelidikan tanah sesuai dengan data apa yang diperlukan dalam perencanaan struktur bangunan. Penyelidikan tanah dibagi menjadi dua cara sesuai dengan cara memperoleh data tersebut yaitu dengan pengujian in-situ dan pengujian laboratorium.

Penyelidikan tanah seringkali menemui batasan-batasan yang menyebabkan kurangnya data yang diperlukan dalam perencanaan struktur. Batasan-batasan tersebut antara lain berupa waktu, kondisi geografis, lapisan geologis, metode penyelidikan, biaya dan sebagainya. Keterbatasan ini menjadi motivasi diadakannya penelitian untuk mengetahui korelasi dari berbagai parameter tanah dengan parameter tanah lainnya sebagai upaya pendekatan untuk mengetahui besaran parameter yang tidak teruji oleh berbagai keterbatasan yang terjadi saat penyelidikan tanah.

Pembangunan Jalur Kereta antara Stasiun Solo Balapan dengan Stasiun Bandara Adie Soemarmo mengadakan penyelidikan tanah yang cukup komprehensif untuk digunakan dalam proses perencanaan struktur bangunan yang terdapat pada jalur kereta tersebut. Penyelidikan tanah yang terdapat dalam proses perencanaan jalur kereta tersebut antara lain: Uji Penetrasi Standar, Bor Dalam, Klasifikasi Tanah, Pengujian Index Properties, Atterberg Limit, Triaxial.

Mengingat luasnya aspek permasalahan yang dapat timbul untuk diteliti dalam penelitian ini, maka untuk memperoleh pembahasan yang lebih rinci dalam penyusunan Tesis ini dibatasi dalam batasan sebagai berikut:

- Lokasi penelitian adalah Pembangunan Jalur Kereta Antara Stasiun Solo Balapan dan Stasiun Bandara Adi Soemarmo, Kabupaten Boyolali yang terletak pada koordinat $7^{\circ}31'24.97''S$ $110^{\circ}48'5.41''E$.
- Data yang digunakan adalah data primer yang diambil pada masa perencanaan konstruksi.
- Hasil penyelidikan tanah yang dievaluasi adalah: Uji Penetrasi Standar (N-SPT), Triaksial Undrained Unconsolidated (c_u) Batas-batas Atterberg (PI)

2. METODE

Pengujian SPT, Boring Test dan Uji Triaxial UU

Lokasi pengujian dan pengambilan sampel bertempat di Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Boyolali sepanjang rencana jalur kereta api antara Stasiun Solo Balapan dan Stasiun Bandara Adie Soemarmo. Data yang digunakan adalah data penyelidikan tanah yang digunakan dalam tahap perencanaan jalur kereta api. Data tersebut terdiri dari hasil pengujian penetrasi standar, pengujian batas-batas Atterberg dan pengujian Triaxial.

Identifikasi dan Interpretasi terhadap data tanah.

Data yang telah dihimpun kemudian dilakukan proses identifikasi dan pengelompokan berdasarkan klasifikasi. Secara umum klasifikasi tanah yang akan dievaluasi adalah:

- Tanah lempung (C=CH+CL)
- Tanah lanau (M=MH+ML)
- Tanah campuran pasir dan lempung (SC)

Sedangkan parameter yang akan dipakai dalam evaluasi adalah:

- N-SPT

Sebelum penggunaan N-SPT, maka N-SPT tersebut harus dikoreksi terlebih dahulu sebelum digunakan. Koreksi nilai N-SPT menggunakan formula

$$N_{60} = \frac{1}{0,6} E_f C_b C_s C_r N \quad (1)$$

- Indeks Cair

Kadar air tanah asli relatif pada kedudukan plastis dan cair dapat didefinisikan oleh indeks cair (liquidity index), LI, dan dinyatakan menurut persamaan:

$$LI = \frac{w_N - PL}{LL - PL} = \frac{w_N - PL}{PI} \quad (2)$$

- Kuat Geser Undrained (c_u)

Persamaan kuat geser sering dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$s = c + \sigma \cdot tgN \quad (3)$$

Karena pada kondisi undrained untuk lempung jenuh $\phi_u = 0$, sehingga nilai $\sigma_{tg} \phi = 0$. Pada kondisi ini, kuat geser undrained dituliskan sebagai $s_u = c_u$ (kohesi undrained).

Evaluasi hubungan antara N_{60} dengan Kohesi Undrained dan Indeks Cair dengan Kohesi Undrained.

Penulis melakukan interpretasi hubungan antara N-SPT hasil pengujian penetrasi standar dengan kohesi undrained (c_u) hasil pengujian triaxial dan Indeks Cair (IL) hasil pengujian batas-batas Atterberg dengan kohesi undrained (c_u) hasil pengujian triaxial. Evaluasi menggunakan program bantu Microsoft Excel dengan melakukan pengamatan visual antara dua parameter sehingga terlihat bagaimana hubungan antara kedua parameter yang akan dievaluasi.

Melakukan plotting data N_{60} dan LI ke dalam grafik korelasi tersedia.

Penulis melakukan plotting data hasil pengujian penetrasi standar (N-SPT) dan pengujian batas-batas Atterberg (LI) untuk menurunkan nilai kohesi undrained (c_u). Tabel dan grafik korelasi yang digunakan adalah:

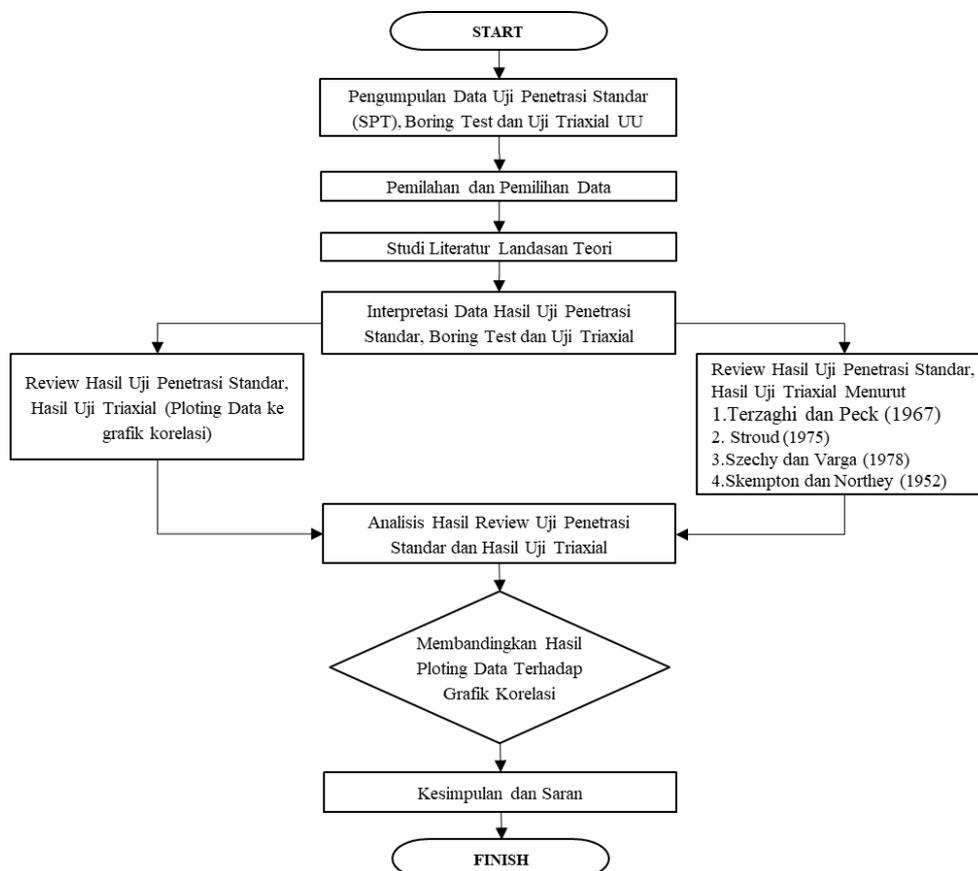
- Terzaghi dan Peck (1967)
- Szechy dan Varga (1978)
- Stroud (1975)
- Skempton dan Northey (1952)

Membandingkan antara hasil evaluasi hubungan antar parameter tahap 3 diatas dengan grafik korelasi empiris tersedia

Penulis melakukan perbandingan antara data hasil pengujian dengan data hasil plotting pada grafik korelasi. Perbandingan akan disajikan dalam tabel sehingga memudahkan dalam proses perbandingan.

Penarikan Kesimpulan.

Penulis menyimpulkan apakah grafik korelasi empiric dapat digunakan untuk menentukan parameter tanah di wilayah tinjauan di Boyolali.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. ANALISIS

Pengelompokan data berdasarkan klasifikasi tanah

Pada pembangunan jalur kereta api antara Stasiun Solo Balapan dan Stasiun Bandara Adie Soemarmo dilakukan penyelidikan tanah sebanyak 63 titik borehole dan SPT. Penyelidikan tanah pada 63 titik SPT dan borehole tersebut diambil sebanyak 111 undisturbed sample dan 136 disturbed sample. Penelitian ini akan menggunakan data dari undisturbed sample. Undisturbed sample itu kemudian dikelompokan berdasarkan klasifikasi tanah berdasarkan USCS (Unified Soil Classification System) yang sudah umum digunakan dalam keperluan penelitian geoteknik. Hasil dari pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Tanah lempung/clay sebanyak 33 sample.
- b. Tanah lanau/silt sebanyak 94 sample.
- c. Tanah pasir berlempung sebanyak 9 sample.

Hasil penyelidikan tanah

Pada setiap *undisturbed* sample yang diperoleh dengan penyelidikan tanah, dilakukan berbagai pengujian sesuai kebutuhan parameter geoteknik untuk kebutuhan perencanaan daya dukung bangunan di atasnya. Penyelidikan tanah pada proyek pembangunan jalur kereta api antara Stasiun Balapan dan Stasiun Bandara Adie Soemarmo yang dibahas pada penelitian ini antara lain:

- a. Pengujian penetrasi standar
Pengujian penetrasi standar menghasilkan parameter N-SPT dengan satuan blows sering digunakan dalam perencanaan awal struktur bangunan. N-SPT sebagai hasil penyelidikan tanah lapangan juga sering digunakan dalam penelitian empiris dalam menentukan parameter lain dari tanah. Dalam penelitian ini N-SPT akan digunakan dalam tinjauan korelasi untuk menentukan kuat geser tanah.
- b. Pengujian batas-batas Atterberg
Pengujian batas-batas Atterberg menghasilkan parameter batas susut/shrinkage limit (SL), batas plastis/plastic limit (PL) dan batas cair/liquid limit (LL). Ketiga parameter yang telah didapatkan dari uji batas-batas Atterberg sebelumnya dapat digunakan untuk menurunkan parameter indeks plastisitas/plasticity index (PI) dan indeks cair/liquidity index (LI). Indeks plastisitas akan digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah dari undisturbed sample tersebut. Indeks cair akan digunakan dalam korelasi untuk menentukan parameter kuat geser tanah yang akan ditinjau dalam penelitian ini.
- c. Pengujian triaxial undrained-unconsolidated
Pengujian triaxial undrained-unconsolidated menghasilkan parameter kuat geser tanah (c_u) dengan satuan kN/m² dan sudut geser dalam (ϕ) dengan satuan derajat. Parameter kuat geser tanah ini diperlukan untuk analisis kapasitas daya dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah.

Penentuan parameter kuat geser tanah menggunakan korelasi yang sudah ada

Pada sample BH07 dengan kedalaman 5 – 5,6 meter dilakukan penentuan parameter kuat geser tanah menggunakan berbagai korelasi yang sudah pernah dilakukan. Sample adalah undisturbed sample dengan klasifikasi USCS: Clay with high plasticity (CH). Penentuan parameter kuat geser tanah dilakukan seperti berikut:

- a. N-SPT terkoreksi (N_{60})
Sebelum penggunaan N-SPT, maka N-SPT tersebut harus dikoreksi terlebih dahulu sebelum digunakan. Koreksi nilai N-SPT menggunakan formula 1 dengan nilai variable
 $E_f = 0,5$ (donnut hammer menggunakan cathead)
 $C_b = 1$ (diameter lubang bor 100 mm)
 $C_s = 1$ (simple sampler)
 $C_r = 0,85$ (panjang batang bor 5 meter)

Maka nilai N-SPT terkoreksi adalah:

$$N_{60} = \frac{1}{0,6} \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 0,85 \times 5$$
$$N_{60} = 3,54$$

b. Indeks cair (LI)

Kadar air tanah asli relatif pada kedudukan plastis dan cair dapat didefinisikan oleh indeks cair (liquidity index), LI, dan dinyatakan menurut persamaan 2 dengan nilai variabel:

$$W_N = 39.135\% \text{ (water content dari penyelidikan tanah di laboratorium)}$$

$$PL = 33.53$$

$$LL = 96.34$$

$$PI = 62.81$$

Dalam penentuan parameter geser tanah dilakukan sebagai berikut:

a. Terzaghi-Peck

Dalam penentuan kekuatan geser (c_u) dengan menggunakan korelasi Terzaghi Peck, parameter yang digunakan adalah N-SPT (blows) dari Uji Penetrasi Standar.

1) Menurut tabel korelasi Terzaghi Peck:

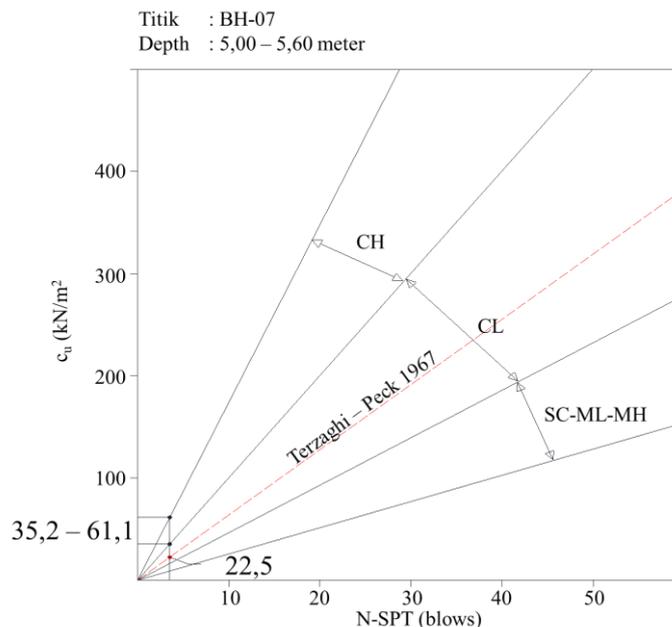
Tabel 1. Variasi korelasi N-SPT dengan c_u tanah lempung (Terzaghi dan Peck, 1967)

Konsistensi	N	C_u (kN/m ²)
Sangat Lunak	0 - 2	< 12
Lunak	2 - 4	12 - 25
Sedang	4 - 8	25 - 50
Kaku	8 - 15	50 - 100
Sangat Kaku	15 - 30	100 - 200
Keras	> 30	> 200

nilai kuat geser (c_u) berada pada rentang 12 – 24 kN/m².

2) Menurut grafik korelasi Terzaghi Peck nilai kuat geser (c_u) adalah sebesar 23,9 kN/m².

3) Menurut grafik korelasi Bouwers nilai kuat geser (c_u) berada pada rentang 37,4 – 65,1 kN/m².



Gambar 1. Plotting data sample BH07 dengan kedalaman 5 – 5,6 meter pada grafik korelasi Terzaghi-Peck

b. Schezy-Varga

Dalam penentuan kekuatan geser (c_u) dengan menggunakan korelasi Schezy-Varga, parameter yang digunakan adalah N-SPT (blows) dari Uji Penetrasi Standar.

Tabel 2. Korelasi antara CI, N dan c_u , Szechy dan Varga (1978)

N	CI	Konsistensi	C_u (kN/m ²)
< 2	< 0,5	Sangat lunak	< 12,5
2 - 8	0,5 - 0,75	Lunak ke sedang	12,5 - 40
8 - 15	0,75 - 1,0	Kaku	40 - 75
15 - 30	1,0 - 1,5	Sangat kaku	75 - 200
> 30	> 1,5	Keras	> 200

Menurut tabel korelasi Szechy-Varga nilai kuat geser (c_u) berada pada rentang 12,5 – 40 kN/m².

c. Stroud

Dalam penentuan kekuatan geser (c_u) dengan menggunakan korelasi Stroud, parameter yang digunakan adalah N-SPT (blows) dari Uji Penetrasi Standar dan Indeks Plastisitas (PI) dimana PI adalah turunan dari hasil uji batas-batas Atterberg.

$$\frac{c_u}{p_a} = \alpha' N_{60}$$

Dengan nilai variabel:

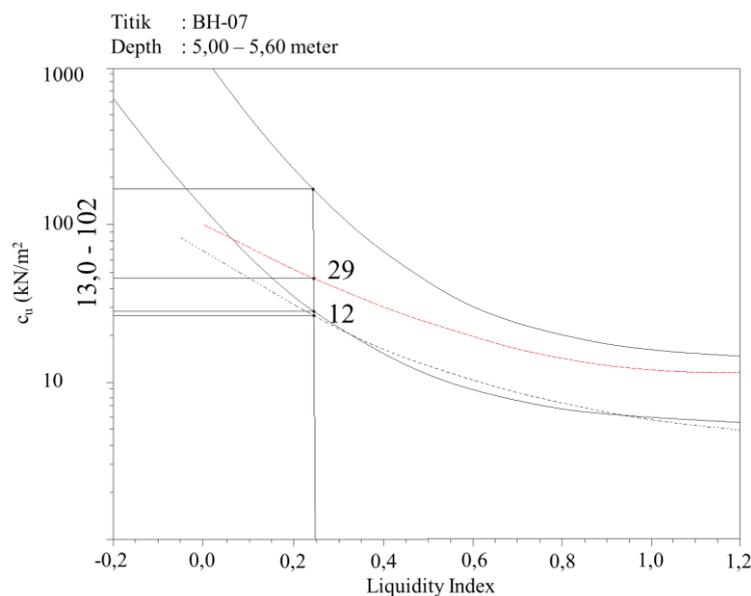
$$\alpha = 0.043 \text{ (Plasticity Indeks } > 60\% \text{) ,}$$

$$p_a = \text{Tekanan atmosfer } \approx 100 \text{ kN/m}^2.$$

Menghasilkan nilai c_u sebesar 15,583 kN/m².

d. Skempton-Northey

Dalam penentuan kekuatan geser (c_u) dengan menggunakan korelasi Skempton-Northey, parameter yang digunakan adalah Indeks Plastisitas (PI) dimana PI adalah turunan dari hasil uji batas-batas Atterberg. Menurut grafik korelasi Bouwers nilai kuat geser (c_u) berada pada rentang 37,4 – 65,1 kN/m².



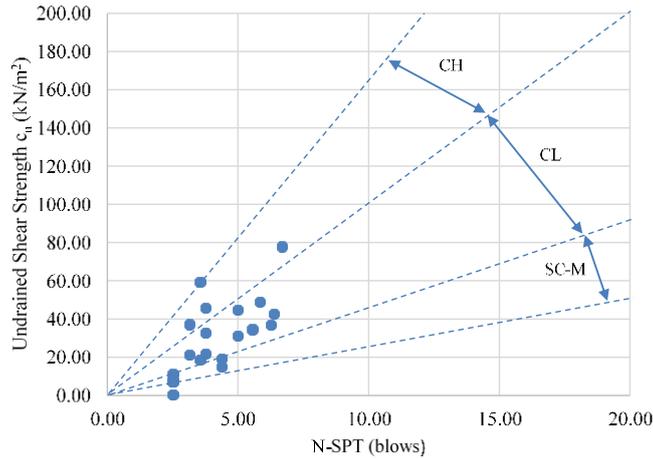
Gambar 2. Plotting data sample BH07 dengan kedalaman 5 – 5,6 meter pada grafik korelasi Skempton-Northey

Interpretasi Hubungan N-SPT (N_{60}) Dengan Hasil Triaxial UU (c_u)

Tahapan usaha interpretasi hubungan antara hasil uji penetrasi standar (N_{60}) dengan hasil uji triaxial unconsolidated-undrained (c_u) dilakukan untuk ketiga kelompok tanah. Grafik interpretasi hubungan antara hasil uji penetrasi standar (N_{60}) dengan hasil kuat geser (c_u) dari masing-masing kelompok tanah ditampilkan pada gambar 3 s.d. 5

a. Tanah lempung (CH+CL)

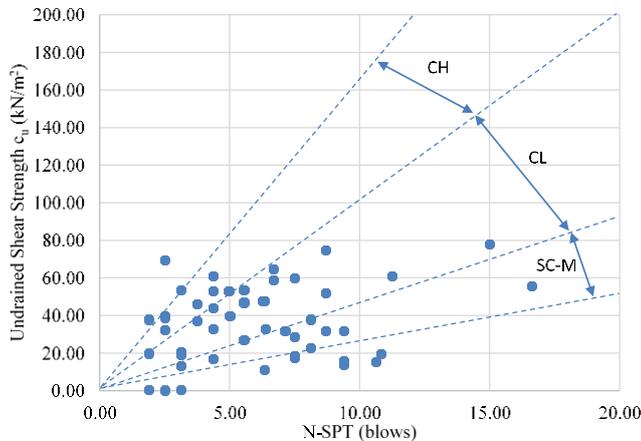
Data yang digunakan dalam interpretasi hubungan antar parameter pada tanah lempung adalah sebanyak 20 data dari 33 data yang tersedia. Usaha interpretasi hubungan antara N_{60} dengan c_u pada tanah lempung memperlihatkan bahwa hubungan memiliki gradien yang positif, hal ini dapat di artikan bahwa semakin tinggi nilai N_{60} , nilai c_u akan ikut semakin tinggi. Nilai c_u paling rendah didapat pada N_{60} sebesar 2,5 menghasilkan nilai c_u sebesar 0,28 kN/m². Nilai c_u paling tinggi didapat pada N_{60} sebesar 6,67 menghasilkan nilai c_u sebesar 78 kN/m². Dapat terlihat sekilas pada gambar 4.4 mayoritas data berada dalam rentang yang sesuai dengan garis-garis Bowers CH-CL dalam grafik Terzaghi – Peck. Sebaran data hubungan antara N_{60} dengan c_u menunjukkan bahwa dari 20 data yang tersebar, terdapat 3 data yang keluar dari garis Bowers CH-CL atau sebesar 85% data sesuai dengan garis Bowers. Interpretasi hubungan antara N_{60} dan c_u ditampilkan dalam gambar 4.3.



Gambar 3 Interpretasi hubungan N_{60} dan c_u pada tanah lempung (CH+CL)

b. Tanah lanau (MH+ML)

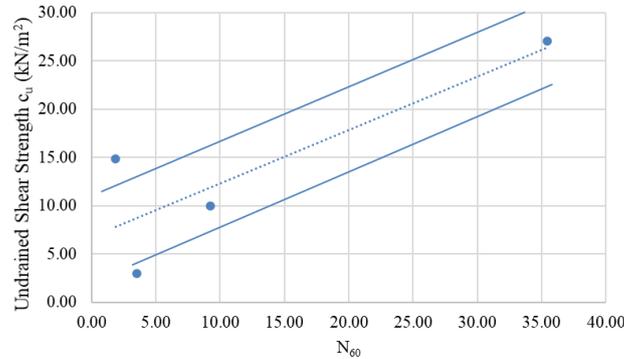
Data yang digunakan dalam interpretasi hubungan antar parameter pada tanah lanau adalah sebanyak 49 data dari 94 data yang tersedia. Usaha interpretasi hubungan antara N_{60} dengan c_u pada tanah lanau memperlihatkan bahwa hubungan memiliki gradien yang positif, hal ini dapat di artikan bahwa semakin tinggi nilai N_{60} , nilai c_u akan ikut semakin tinggi. Nilai c_u paling rendah didapat pada N_{60} sebesar 2,5 menghasilkan nilai c_u sebesar 0,25 kN/m². Nilai c_u paling tinggi didapat pada N_{60} sebesar 15 menghasilkan nilai c_u sebesar 78 kN/m². Dapat terlihat sekilas pada gambar 4.6 terlihat mayoritas data berada di luar rentang yang sesuai dengan garis-garis Bowers SC-M dalam grafik Terzaghi – Peck. Sebaran data hubungan antara N_{60} dengan c_u menunjukkan bahwa dari 49 data yang tersebar, terdapat 40 data yang keluar dari garis Bowers SC-M atau hanya sebesar 18,3% data sesuai dengan garis Bowers. Namun secara umum 38 masih tercakup dalam garis-garis Bowers dari total 49 data. Interpretasi hubungan antara N_{60} dan c_u ditampilkan dalam gambar 4.4.



Gambar 4. Interpretasi hubungan N_{60} dan c_u pada tanah lanau (MH+ML)

c. Tanah pasir berlempung

Data yang digunakan dalam interpretasi hubungan antar parameter pada tanah pasir berlempung adalah sebanyak 5 data dari 9 data yang tersedia. Usaha interpretasi hubungan antara N_{60} dengan c_u memperlihatkan bahwa hubungan memiliki gradien yang positif, hal ini dapat diartikan bahwa semakin tinggi nilai N_{60} , nilai c_u akan ikut semakin tinggi. Pada tanah di boyolali terlihat bahwa sebaran data dapat ditarik garis dengan kemiringan 5:3. Nilai c_u paling rendah didapat pada N_{60} sebesar 3,54 menghasilkan nilai c_u sebesar 3 kN/m². Nilai c_u paling tinggi didapat pada N_{60} sebesar 35,4 menghasilkan nilai c_u sebesar 27,1 kN/m². Interpretasi hubungan antara N_{60} dan c_u ditampilkan dalam gambar 4.5.



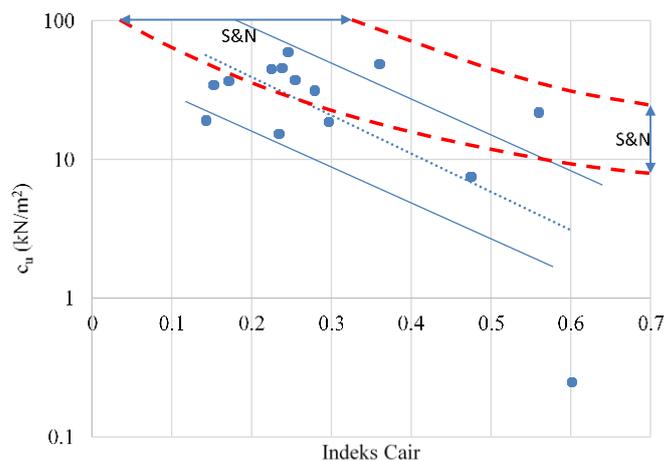
Gambar 5. Grafik korelasi N-SPT dengan c_u pada tanah lanau (MH+ML)

Interpretasi Hubungan Hasil Uji Batas Atterberg (LI) Dengan Hasil Triaxial UU (c_u)

Tahapan usaha interpretasi hubungan antara hasil uji Atterberg limit dengan hasil uji triaxial unconsolidated-undrained dilakukan kepada 3 kelompok tanah. Grafik interpretasi hubungan antara hasil uji batas atterberg (LI) dengan hasil kuat geser (c_u) dari masing-masing kelompok tanah ditampilkan pada gambar 6 s.d 8.

a. Tanah lempung (CH+CL)

Data yang digunakan dalam interpretasi hubungan antar parameter pada tanah lempung adalah sebanyak 15 data dari 31 data yang tersedia. Usaha interpretasi hubungan antara LI dengan c_u pada tanah lempung memperlihatkan bahwa hubungan memiliki gradien yang negatif, hal ini dapat di artikan bahwa semakin tinggi nilai LI, nilai c_u akan semakin rendah. Sebaran data tanah lempung juga menunjukkan 8 data atau 53,33% terletak di dalam rentang Skempton dan Northey. Nilai c_u paling rendah didapat pada LI sebesar 0,601 menghasilkan nilai c_u sebesar 0,25 kN/m². Nilai c_u paling tinggi didapat pada LI sebesar 0,245 menghasilkan nilai c_u sebesar 59,5 kN/m². Interpretasi hubungan antara LI dan c_u pada tanah lempung ditampilkan dalam gambar 4.6.

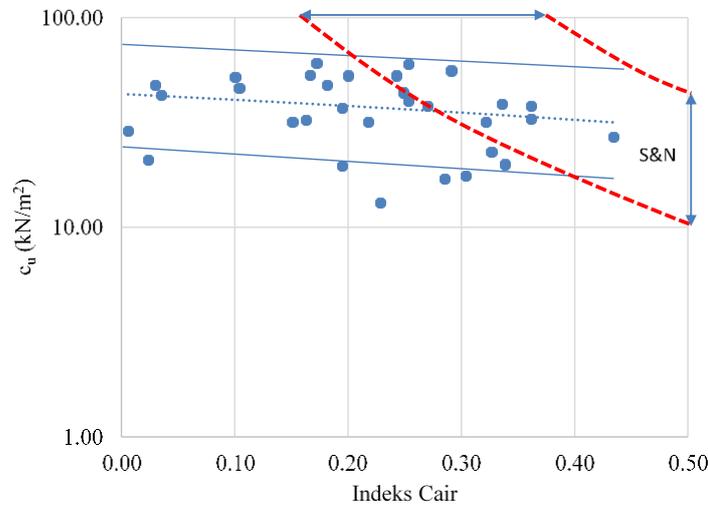


Gambar 6. Interpretasi hubungan LI dengan c_u pada tanah lempung (CH+CL)

b. Tanah lanau (MH+ML)

Data yang digunakan dalam interpretasi hubungan antar parameter pada tanah lanau adalah sebanyak 31 data dari 94 data yang tersedia. Usaha interpretasi hubungan antara LI dengan c_u pada tanah lanau memperlihatkan bahwa hubungan memiliki gradien yang negatif, hal ini dapat di artikan bahwa semakin tinggi nilai LI, nilai c_u akan semakin rendah. Sebaran data tanah lempung juga menunjukkan 8 data atau 25,8% terletak di dalam rentang

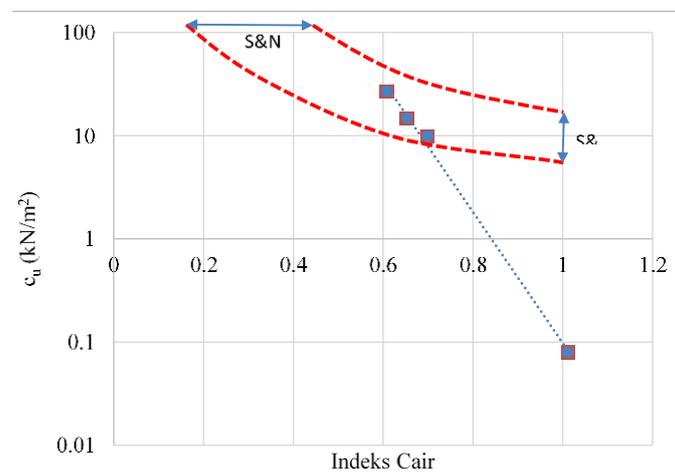
Skempton dan Northey. Nilai c_u paling rendah didapat pada LI sebesar 0,23 menghasilkan nilai c_u sebesar 13 kN/m². Nilai c_u paling tinggi didapat pada LI sebesar 0,17 menghasilkan nilai c_u sebesar 61 kN/m². Interpretasi hubungan antara LI dan c_u pada tanah lanau ditampilkan dalam gambar 4. 7.



Gambar 7. Interpretasi hubungan LI dan c_u pada tanah lanau (MH+ML)

c. Tanah pasir berlempung

Data yang digunakan dalam interpretasi hubungan antar parameter pada tanah pasir berlempung adalah sebanyak 4 data dari 9 data yang tersedia. Usaha interpretasi hubungan antara LI dengan c_u pada tanah pasir berlempung memperlihatkan bahwa hubungan memiliki gradien yang negatif, hal ini dapat di artikan bahwa semakin tinggi nilai LI, nilai c_u akan semakin rendah. Sebaran data tanah lempung juga menunjukkan 3 data atau 75% terletak di dalam rentang Skempton dan Northey. Nilai c_u paling rendah didapat pada LI sebesar 1,01 menghasilkan nilai c_u sebesar 0,08 kN/m². Nilai c_u paling tinggi didapat pada LI sebesar 0,607 menghasilkan nilai c_u sebesar 27,1 kN/m². Interpretasi hubungan antara LI dan c_u pada tanah pasir berlempung ditampilkan dalam gambar 4. 8.



Gambar 8. Interpretasi hubungan LI dan c_u pada tanah pasir berlempung (SC)

Perbandingan antara parameter hasil pengujian dengan parameter hasil korelasi empiric

Perbandingan antara korelasi hasil data pengujian dengan hasil penentuan menggunakan korelasi empiric terdapat perbedaan yang cukup signifikan dimana banyak data yang tidak cocok dan cukup jauh dari perkiraan menggunakan persamaan, tabel atau grafik empiric dimana:

- Pada penentuan parameter geser tanah menggunakan persamaan Stroud terdapat 13 data yang sesuai dengan data pengujian Triaxial UU atau 16,88% dari total 77 data.
- Pada penentuan parameter geser tanah menggunakan tabel Terzaghi-Peck terdapat 27 data yang sesuai dengan data pengujian Triaxial UU atau 35,06% dari total 77 data.

- c. Pada penentuan parameter geser tanah menggunakan grafik Terzaghi-Peck terdapat 12 data yang sesuai dengan data pengujian Triaxial UU atau 15,58% dari total 77 data. Pada garis Sower yang terdapat dalam grafik Terzaghi-Peck terdapat 9 data yang sesuai dengan pengujian Triaxial UU atau 11,69% dari 77 data.
- d. Pada penentuan parameter geser tanah menggunakan tabel Schezy-Varga terdapat 30 data yang sesuai dengan data pengujian Triaxial UU atau 38,96% dari total 77 data.
- e. Pada penentuan parameter geser tanah menggunakan grafik Skempton-Northey terdapat 25 data yang sesuai dengan data pengujian Triaxial UU atau 39,06% dari total 54 data. Pada garis Shellhaven yang terdapat dalam grafik Skempton-Northey terdapat 5 data yang sesuai dengan pengujian Triaxial UU atau 7,81% dari 54 data sedangkan tidak terdapat data yang sesuai dengan pengujian Triaxial UU pada garis Horten.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

- a. Interpretasi hubungan antara N_{60} dengan c_u memiliki sebaran data yang baik. Sebaran data pada tanah lempung terlihat 85% data sesuai dengan rentang CH-CL pada garis Bowers dalam grafik korelasi Terzaghi – Peck. Sebaran data pada tanah lanau mayoritas data masih terletak dalam rentang Bowers, namun tidak mengikuti pembagian klasifikasi tanah di dalamnya. Sebaran data pada tanah pasir berlempung terlihat bahwa, sebaran data terletak di luar garis Bowers, namun secara umum hubungan data memiliki gradien positif yang dapat diartikan sebaran data memiliki kelogisan yang baik.
- b. Interpretasi hubungan antara LI dengan c_u memiliki sebaran data yang baik. Sebaran data pada tanah lempung terlihat 53,3% data sesuai dengan rentang Skempton dan Northey, sedangkan sebaran data yang berada di luar rentang terletak berhimpitan dengan ambang bawah rentang. Sebaran data pada tanah lanau terlihat 25,8% data sesuai dengan rentang Skempton dan Northey, sedangkan sebaran data yang berada di luar rentang terletak berhimpitan dengan ambang bawah rentang. Sebaran data pada tanah lanau terlihat 75% data sesuai dengan rentang Skempton dan Northey.
- c. Perbandingan antara korelasi hasil data pengujian dengan hasil penentuan menggunakan korelasi empiric terdapat perbedaan yang cukup signifikan dimana banyak data yang tidak cocok dan cukup jauh dari perkiraan menggunakan persamaan, tabel atau grafik empirik. Sehingga tidak terdapat korelasi empirik yang dapat mewakili kondisi tanah di Boyolali.

Saran

- a. Perlu dilakukan kajian lebih mendalam terkait pengaruh kandungan mineral pada hubungan antar parameter tanah pada tanah lunak.
- b. Pada pelaksanaan penyelidikan tanah diperlukan supervisi yang komprehensif sehingga prosedur pelaksanaan penyelidikan tanah dapat terpenuhi sesuai dengan standar prosedur pelaksanaan. Sample yang diambil sesuai dengan prosedur pelaksanaan akan memberikan data yang dapat mewakili kondisi asli dari tanah di Boyolali.
- c. Pada penyelidikan tanah ini terdapat beberapa parameter lain yang dapat dijadikan penelitian lanjutan mengenai kondisi tanah di Boyolali.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi R. (2004). *Korelasi Derajat Kepadatan Relatif Tanah Berbutir Kasar Terhadap Nilai N-SPT*. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., and Das, B.M. (2016). *Correlation of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Springer India. New Delhi.
- Ardana M. D. W. (2008). *Korelasi Kekuatan Geser Undrained Tanah Lempung Dari Uji Unconfined Compression Dan Uji Laboratory Vane Shear (Studi Pada Remolded Clay)*. Universitas Udayana. Denpasar.
- Hardiyatmo, C. H. (2008). *Teknik Fondasi I*. Gajah Mada Univesity Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, C. H. (2012). *Mekanika Tanah I*. Gajah Mada Univesity Press. Yogyakarta.
- Casagrande, A. (1948). Classification and Identification of Soils. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113, 901-930.
- Coduto, D. P. (2001). *Foundation Design: Principle and Practices. 2nd Edition*. Prentice Hall: Upper Saddle River. Cottingham MA.
- (2009). *Insitu Determination Of Residual Soil Shear Strength Parameters Using The Standard Penetration Test With Torque*. University of North Carolina. Charlotte
- Das, B. M. (1985). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Erlangga. Jakarta.

- Direktorat Jendral Bina Marga. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik Dan Fondasi*. Jakarta. Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- FHWA. (2006). *Soil and Foundation Reference Manual Volume I*. Washington DC: US Department of Transportation.
- Hettiarachchi H. (2009). *Use of SPT Blow Counts to Estimate Shear Strength Properties of Soils: Energy Balance Approach*. United Nations University. Nagpur
- Holtz, D. R. & Kovacs, D. W. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall. New Jersey.
- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). *Manual on estimating soil properties for foundation design*. Cornell University. New York.
- Nassaji, F. (2011). *SPT Capability to Estimate Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils of Tehran, Iran*. University of Hormozgan. Iran.
- Pranantya, P. A. (2018). *Korelasi Nilai Sondir Terhadap Parameter Geoteknik Dan Rembesan Pada Pondasi Tanggul Fase E, Kalibaru, Jakarta Utara*. Bandung. Pusat Litbang Sumber Daya Air.
- Salgado, R. (2008). *The engineering of foundations*. McGraw-Hill. New York.
- Skempton, A.W., & Northey, R.D. (1952). The Sensitivity of Clays. *Geotechnique*, 3, 30-53.
- Su'ba, S. (2001). *Korelasi Parameter Kuat Geser Hasil Uji Vane Shear, Triaxial dan Direct Shear Pada Tanah Gambut di Kabupaten Pontianak*. : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- Stroud, M. A. (1975). The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks. *Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing*. Stockholm, June 5-7. 2(2): 367-375
- Szechy, K., & Varga, L. (1978). *Foundation engineering – soil exploration and spread foundation*. Akademiai Kiado. Hungaria.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1967). *Soil mechanics in engineering practice, 2nd edn*. Wiley. New York
- Vidayanti, D. (2013). *Korelasi Nilai N-Spt Dengan Parameter Kuat Geser Tanah Untuk Wilayah Jakarta Dan Sekitarnya*. Universitas Sebelas Maret (UNS). Surakarta.