

ANALISA KAPASITAS DUKUNG TANAH DASAR LEMPUNG LUNAK TREATMENT DAN UNTREATMENT BERDASARKAN KORELASI NILAI MODULUS ELASTISITAS

Vemi Widoanindyawati^{1)*}, Brenanto T Widodo²⁾, Tri Wardaya¹⁾,
Yustinus Eka Wiyana¹⁾, Dadiyono Amat Pawiro¹⁾, Leily Fatmawati¹⁾

¹ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. Soedarto Semarang

² Jurusan Teknik Geologi, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto Semarang

*Email: yemiway@gmail.com

Abstract

Soft soil or often referred to as soft soil is one of the types of soil that has a very small carrying capacity value. The value of soft soil support capacity only ranges from 7-29 kN / m². Therefore, many building failures occur due to decreased bearing capacity values. As an example of frequent building failures is a ununiform settlement. The decrease in soft soil that occurs can reach 140 - 480 mm at some foundation points. Therefore, ground improvement are carried out to increase the bearing capacity of the foundation building. Ground treatment is done by injecting a mixture of water cement or more commonly called the grouting method. The purpose of this treatment is to increase the value of soil bearing capacity. The results of the calculation of soil bearing capacity before treatment is carried out at a depth of 10 meters, namely 12 kN / m², 24.25 kN / m², 202.07 kN / m², 32.33 kN / m². The increase in the bearing capacity of the soil is analyzed using a comparison of sondir values in the form (qc) before and after the treatment. The qc value is converted to the soil elasticity modulus value (E) and is used as a parameter in the calculation of soil bearing capacity on plaxis. The modulus elasticity will be analyzed using Bowles (1997) which is $E = 8qc$. Based on the results of the conversion of the soil modulus elasticity, then by using Finite Element Plaxis Software there is an increase in the soil bearing capacity at the same point.

Keywords: *Grouting, soil modulus elasticity, treatment, soft soil, bearing capacity.*

Abstrak

Tanah lunak atau yang sering disebut dengan soft soil adalah salah satu dari jenis tanah yang memiliki nilai daya dukung yang sangat kecil. Nilai kapasitas dukung tanah lunak hanya berkisar antara 7-29 kN/m². Oleh sebab itu, banyak kegagalan bangunan terjadi akibat menurunnya nilai kapasitas dukung tanah. Salah satu contoh kegagalan bangunan yang sering terjadi adalah penurunan yang tidak seragam. Penurunan pada tanah lunak yang terjadi dapat mencapai 140 - 480 mm di beberapa titik pondasi. Oleh sebab itu, perbaikan tanah dilakukan guna meningkatkan daya dukung tanah pondasi bangunan tersebut. Perbaikan tanah dilakukan dengan menyuntikkan campuran semen air atau yang lebih sering disebut dengan metode grouting. Tujuan *treatment* ini adalah untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah (bearing capacity). Hasil perhitungan daya dukung tanah sebelum dilaksanakan *treatment* pada kedalaman 10 meter yaitu 12 kN/m², 24,25 kN/m², 202,07 kN/m², 32,33 kN/m². Kenaikkan daya dukung tanah dianalisis dengan menggunakan perbandingan nilai sondir berupa (qc) sebelum dan sesudah dilaksanakannya proses *treatment*. Nilai qc dikonversikan menjadi nilai modulus elastisitas tanah (E) dan digunakan sebagai parameter dalam perhitungan daya dukung tanah pada plaxis. Nilai modulus elastisitas akan dianalisis dengan menggunakan pendekatan dari rumus Bowles (1997) yaitu $E = 8qc$. Berdasarkan hasil konversi kenaikan nilai modulus elastisitas tanah, maka dengan menggunakan Software Finite Element Plaxis terjadi kenaikan daya dukung tanah pada titik sondir yang sama.

Kata Kunci: *Treatment, lempung lunak, modulus elastisitas tanah, kapasitas dukung*

PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan dunia konstruksi Indonesia mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini ditandai dengan banyak didirikannya bangunan – bangunan bertingkat di beberapa wilayah di Indonesia. Sementara itu Indonesia yang merupakan negara kepulauan memiliki berbagai sumber daya tanah yang begitu besar. Berbagai jenis tanah banyak ditemukan di Indonesia seperti tanah pasir, lanau, lempung, berangkal, kerakal, dan sebagainya. Namun di beberapa wilayah yang dekat dengan daerah panatai maupun daerah lembah perbukitan masih sering ditemukan tanah lunak atau yang sering disebut dengan soft soil. Tanah lempung atau soft soil adalah salah satu jenis tanah lunak yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Keberadaan tanah lunak ini menjadi tantangan cukup besar bagi dunia konstruksi di Indonesia. Berdasarkan (Terzaghi, 1943) daya dukung tanah lunak untuk lanau atau lempung lunak berdasarkan nilai tahanan gesek satuan (f_s) yaitu 7-29 kN/m². Sehingga banyak ditemukan kasus kegagalan pada bangunan gedung di Indonesia akibat ketidak tercapaian nilai kapasitas dukung tanah pondasi di dalam menerima beban struktur atas. Kegagalan yang paling umum dialami adalah penurunan.

Proses penurunan tanah yang mengakibatkan kegagalan bangunan gedung mengharuskan adanya perbaikan tanah atau yang sering disebut dengan *treatment soil*. Perbaikan tanah yang dilakukan adalah dengan melakukan grouting. Pada saat proses grouting tanah akan disuntik dengan campuran semen air. Sebelumnya titik grouting telah ditentukan sesuai dengan hasil uji lapangan yaitu sondir. Dari hasil uji sondir akan didapatkan parameter tanah yang dapat memberikan kesimpulan kedalaman grouting yang harus dilaksanakan. Setelah melaksanakan proses grouting, maka tanah akan diuji kembali dengan uji sondir untuk mendapatkan parameter kekuatan dukung tanah. Efektifitas penggunaan grouting dalam perbaikan tanah ini dapat dianalisis dengan menggunakan hasil dari uji sondir. Korelasi beberapa parameter tanah dan selanjutnya akan dimasukkan kedalam program Plaxis 2D untuk melihat nilai kenaikan daya dukung tanah.

METODE PENELITIAN

Tahap Pengumpulan Data Lapangan dan Data Laboratorium

Data lapangan yang digunakan adalah data lapangan Sondir. Dan data laboratorium *unconfined compression test, triaxial, water content, dsb*. Data ini kemudian

dikelompokkan berdasarkan dengan lokasi terdekat dari titik sondir tanah treatment atau pun non treatment. Data laboratorium sebelum treatment dilakukan validasi dan pengelompokkan sesuai dengan lokasi sondir dan lokasi tanah yang telah mengalami treatment. Selanjutnya data tanah non treatment juga dikelompokkan berdasarkan lokasi terdekat dengan titik sondir. Untuk mendapatkan data pengujian laboratorium sifat fisik tanah akan dilaksanakan pengambilan sampel terganggu (*disturb sample*) dan untuk mendapatkan data pengujian laboratorium *triaxial* dan uji tekan bebas maka dilaksanakan pengambilan sampel tak terganggu (*undisturb sample*).

Tahap Analisa Data Uji Lapangan dan Uji Laboratorium

Setelah mendapatkan data lapangan dan data laboratorium, selanjutnya melakukan interpretasi data berdasarkan metode kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif menggunakan data sondir untuk mengetahui jenis tanah di setiap kedalaman. Dan metode kuantitatif akan menggunakan data dari pengujian lapangan maupun pengujian data laboratorium. Metode kuantitatif akan mendapat hasil – hasil pengujian yang terukur dan akan digunakan sebagai material pengolahan data. Hasil pengujian tersebut diantaranya adalah nilai properties tanah (w , G_s , e , dan γ) sebagai material perhitungan dasar kapasitas dukung tanah, hasil uji *triaxial* dan uji tekan bebas akan mendapatkan data kohesi dan kuat geser tanah sebagai perhitungan nilai korelasi modulus elastisitas. Setelah tahap penentuan nilai modulus elastisitas maka dilakukan perhitungan kapasitas dukung tanah. Sebagai data sekunder di dalam penelitian, perhitungan deformasi tanah (penurunan) dapat dilakukan juga.

Tahap Analisa Perubahan Nilai Parameter Tanah (Modulus Elastisitas)

Data properties tanah untreatment dianalisa menggunakan perhitungan manual untuk diamsukkan ke dalam rumus perhitungan kapasitas dukung tanah berdasarkan teori Terzaghi. Selanjutnya data lapangan tanah untreatment yaitu data sondir digunakan sebagai perhitungan di dalam menentukan nilai modulus kapasitas dukung tanah. Sehingga dari langkah perhitungan terdapat dua pemodelan yaitu dengan interpretasi data lapangan dan intepretasi data laboratorium. Hal yang sama dilakukan dengan data tanah treatment. Data pengujian laboratorium dan pengujian lapangan sebelum dilakukan treatment dilakukan perhitungan tegangan dan kapasitas dukung tanah. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar nilai parameter kekuatan tanah sebelum dilaksanakan treatment. Setelah dilaksanakan treatment data laboratoirum dan data lapangan juga

diinterpretasi untuk mendapatkan nilai kapasitas dukung tanah, tegangan, penurunan, dan nilai modulus elastisitas.

Tahap Pemodelan Tegangan Tanah dengan Software Plaxis

Tahap pemodelan ini adalah bagian dari data sekunder. Penggunaan software Plaxis akan digunakan di dalam perhitungan tegangan tanah untuk memntukan angka keamanan dan juga untuk melakukan perhitungan tergapad daya dukung tanah. Terdapat 3 pemodelan yang akan dilakukan dengan software Plaxis diantaranya adalah:

- a. Pemodelan untuk tanah untreatment, dengan memasukkan nilai properties tanah dari laboratorium ke dalam program. Kemudian dilakukan perhitungan untuk angka safety factor, tegangan tanah, dan kapasitas dukung tanah.
- b. Pemodelan untuk tanah sebelum treatment, dengan memasukkan nilai properties tanah dari laboratorium ke dalam program. Kemudian dilakukan perhitungan untuk angka safety factor, tegangan tanah, dan kapasitas dukung tanah sebelum dilakukan treatment dengan menggunakan metode grouting.
- c. Pemodelan untuk tanah sesudah treatment, dengan memasukkan nilai properties tanah dari laboratorium ke dalam program. Kemudian dilakukan perhitungan untuk angka safety factor, tegangan tanah, dan kapasitas dukung tanah setelah dilakukan treatment dengan menggunakan metode grouting. Perubahan nilai – nilai properties tanah di dalam pemodelan ketiga ini didapatkan dari data sondir setelah dilaksanakan treatment. Salah satu diantaranya adalah perubahan nilai modulus elastisitas yang didapatkan dari hasil korelasi dengan data sondir.
- d. Keseluruhan pemodelan diilustrasikan dengan bentuk pondasi persegi empat dan telah dibebani dengan beban struktur atas yang telah ditentukan.

Penggambaran Grafik Hubungan Kenaikan Modulus Elastisitas Tanah dengan Tegangan Tanah

Hasil perhitungan secara konvensional dengan menggunakan rumus dari Terzaghi dan perhitungan melalui program akan dilakukan perbandingan nilai tegangan, nilai angka keamanan, dan nilai properties tanah. Grafik yang akan digambarkan adalah grafik hubungan antara kenaikan nilai modulus elastisitas setelah dan sebelum treatment dengan nilai tegangan tanah. Grafik hubungan nilai tegangan tanah treatment dan untreatment. Serta grafik hubungan soil properties dengan penurunan tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

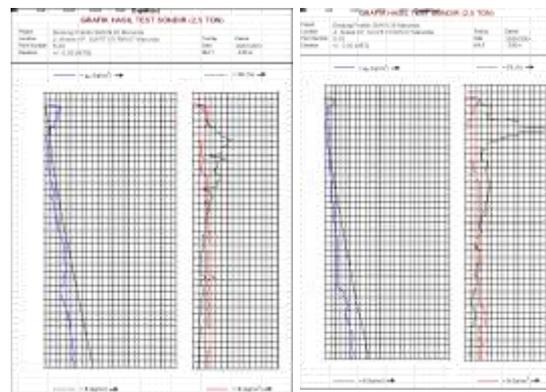
1. Hasil Pengujian Laboratorium dan Pengujian Lapangan

Pengujian dilaksanakan pada tanah sebelum dan sesudah dilaksanakan *treatment*. Terdapat dua jenis pengujian yang dilaksanakan yaitu pengujian laboratorium dan pengujian lapangan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Laboratorium BH 1.

PENGUJIAN	INDEX PROPERTIES (BH 1)			
SAMPLE DEPTH	1,5 - 2	2,5 - 3	4,5 - 5	
Gradasi				
Kerikil	-	-	-	%
Pasir	5,35	1,64	4,95	%
Lanau	41,27	46,18	39,23	%
Lempung	53,5	50,92	56,86	%
Batas Atterberg				
Batas cair (LL)	85,5	83,97	80,95	%
Batas plastis (PL)	35,12	35,89	36,09	%
Indeks plastisitas (PI)	49,95	47,98	45,91	%
Sifat Fisik Tanah				
Kadar air (w)	62,8	62,19	63,23	%
Porositas (n)	61	62	64	%
Angka pori (e)	1,63	1,68	1,78	-
Berat volume basah (γ_b)	15,54	15,6	14,54	kN/m ³
Berat volume kering (γ_d)	9,24	9,58	9,02	kN/m ³
Berat jenis (G_s)	2,56	2,56	2,57	-
Densitas keijmahan (S)	99,56	98,23	90,64	%
Uji Triaksial				
Kohesi (c)	0,078	0,2	0,15	kn/cm ²
Sudut geser dalam (ϕ)	2,6	3,5	4	°
Uji Konsolidasi				
Koefisien konsolidasi (C_v)	4,89	5,43	4,64	10 ⁻⁸ m ² /s
Indeks kompresi (C_c)	0,64	0,65	0,55	-

Dari pengujian laboratorium di atas ditunjukkan bahwa pada kedalaman 1,5 – 5 meter tanah didiskripsikan sebagai lempung kelanauan dengan warna abu – abu. Tanah lempung ini memiliki konsistensi yang lunak hingga sangat lunak. Dengan kandungan organik dan *montmorillonite* yang cukup tinggi mengakibatkan tanah tersebut memiliki nilai kompresibilitas dan plastisitas yang cukup tinggi. Hal ini mengakibatkan tanah tersebut memiliki nilai daya dukung yang sangat rendah sehingga tanah belum cukup mampu untuk mendukung beban struktur di atasnya. Sedangkan berdasarkan nilai data Sondir di dapatkan grafik pengujian sondir pada Titik S1 dan Titik S2 sebagai berikut.



Gambar 1. Grafik Sondir pada Titik S1 dan Titik S2.

Sedangkan berdasarkan hasil rangkuman data sondir untuk Titik Sondir S1 dan Titik Sondir S2 didapatkan tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sondir Titik S1 dan S2.

Data Sondir Titik S1			Data Sondir Titik S2		
Kedalaman Titik Sondir	qc	fr	Kedalaman Titik Sondir	qc	fr
(m)	(kg/cm ²)	(%)	(m)	(kg/cm ²)	(%)
1	15	3,33	1	25	1,67
2	5	4	2	19	2,63
3	3	7,73	3	4	5
4	6	3,75	4	6	5
5	5	6	5	7	4,29
6	11	3,33	6	10	5
7	10	5	7	17	1,76
8	32	1,88	8	17	2,35
9	33	1,52	9	21	2,38
10	35	1,25	10	25	2

Hasil pengujian sondir pada Tabel 2 dengan kedalaman 1 – 10 meter didapatkan titik S-1 untuk rentang nilai tahanan konus (qc) yaitu 3 – 35 kg/cm² dan rentang nilai rasio gesekan (fr) yaitu 1,52 – 7,73 % dimana nilai ini terklasifikasikan sebagai jenis tanah lempung sampai lanau dengan konsistensi tanah sangat lunak sampai kaku, pada titik S-2 didapatkan rentang nilai tahanan konus (qc) yaitu 4 – 25 kg/cm² dan rentang nilai rasio gesekan (fr) yaitu 1,67 – 5,00 % dimana nilai ini terklasifikasikan sebagai jenis tanah lempung sampai lanau dengan konsistensi tanah sangat lunak sampai teguh.

2. Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal dan Daya Dukung Ijin.

Perhitungan daya dukung tanah untuk fondasi dangkal pada Tabel 3 dilaksanakan dengan menggunakan nilai korelasi untuk kuat geser tidak terdrainase (N) yaitu 30 dari rentang 10 sampai 30. Perhitungan daya dukung tanah ijin (q_{all}) pada Tabel 7., dilaksanakan untuk mengetahui tegangan beban yang diijinkan. Perhitungan nilai daya dukung tanah menggunakan rumus $q_u = 1,3 C_u N_c$ dimana, nilai N_c merupakan nilai faktor kapasitas daya dukung. Nilai faktor kapasitas daya dukung menyesuaikan dari besarnya nilai sudut geser dalam (φ) yang dihubungkan secara empiris melalui tabel oleh (Terzaghi, 1943), dan nilai C_u dilaksanakan dengan menggunakan rumus $C_u = \frac{q_c}{N} C_u = \frac{q_c}{N}$ nilai korelasi N yang digunakan adalah 30 dari rentang 10 s/d 30, nilai 30 diambil dari tingkat ketidakpercayaan terhadap daya dukung tanah untuk menampung beban bangunan ketika kondisi sebelum di grouting. Sedangkan perhitungan nilai q_{all} dilaksanakan dengan menggunakan rumus $q_{all} = \frac{q_u}{S_f} q_{all} = \frac{q_u}{S_f}$, • Nilai S_f merupakan nilai faktor keamanan. Nilai faktor keamanan yang digunakan secara umum dalam pembangunan gedung adalah 3.

Tabel 3. Perhitungan Daya Dukung Tanah Sebelum Treatment pada Titik S1 dan Titik S2.

Daya Dukung Tanah Berdasarkan Titik Sondir S1 (Sebelum Treatment)						Daya Dukung Tanah Berdasarkan Titik Sondir S2 (Sebelum Treatment)					
Kedalaman Titik Sondir	q_c	C_u	q_u	Safety Factor	q_{all}	Kedalaman Titik Sondir	q_c	C_u	q_u	Safety Factor	q_{all}
(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(F _s)	(kN/m ²)	(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(F _s)	(kN/m ²)
1	15	0.5	3.712	3	121.24	1	25	0.8	6.186	3	202.07
2	5	0.2	1.237	3	40.41	2	19	0.6	4.701	3	153.57
3	3	0.1	0.742	3	24.25	3	4	0.1	0.990	3	32.33
4	6	0.2	1.485	3	48.50	4	6	0.2	1.485	3	48.50
5	5	0.2	1.237	3	40.41	5	7	0.2	1.732	3	56.98
6	11	0.4	2.722	3	88.91	6	10	0.3	2.474	3	80.83
7	10	0.3	2.474	3	80.83	7	17	0.6	4.206	3	137.41
8	32	1.1	7.918	3	258.65	8	17	0.6	4.206	3	137.41
9	33	1.1	8.165	3	266.73	9	21	0.7	5.196	3	169.74
10	35	1.2	8.660	3	282.90	10	25	0.8	6.186	3	202.07

Dari data perhitungan daya dukung di atas pada titik sondir S1 dan S2 sebelum di *treatment* memiliki nilai daya dukung ijin tertinggi yaitu 282, 9 kN/m² pada titik S1 dan titik S2 memiliki nilai 202, 07 kN/m².

3. Perhitungan Deformasi Tanah dengan Menggunakan Software Plaxis.

Bentuk deformasi penurunan akibat beban bangunan dapat digambarkan dengan menggunakan perangkat lunak PLAXIS Professional 8.6. Pembuatan geometri penurunan dilaksanakan dengan menggunakan tiga jenis lapisan tanah dimana pada lapisan ke-1 merupakan tanah urugan setebal 3 m, lapisan ke-2 merupakan endapan lempung setebal 10 m, dan lapisan tanah ke-3 merupakan endapan lanau setebal 15 m. Data tanah hasil dari pengujian laboratorium tanah dimasukkan ke dalam parameter perhitungan. Dan salah satu parameter yang menjadi tolak ukur nilai deformasi adalah nilai modulus elastisitas tanah. Nilai modulus elastisitas tanah (E) menjadi salah satu parameter yang berperan di dalam mendapatkan nilai deformasi atau penurunan tanah. Nilai E dihitung dengan menggunakan nilai korelasi dari hasil pengujian sondir (CPT). Berdasarkan rumus dari (Bowles, 1997) untuk tanah dengan konsistensi lempung lunak hingga lempung kelanauan maka nilai $E = (3 \text{ to } 8) q_c$. Seperti yang dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai E pada titik S1 dan S2 sebelum dilakukan treatment.

Data Sondir Titik S1			Data Sondir Titik S2		
Kedalaman Titik Sondir	q_c	E	Kedalaman Titik Sondir	q_c	E
(m)	(kg/cm ²)	Mpa	(m)	(kg/cm ²)	Mpa
1	15	1.176	1	25	1.96
2	5	0.392	2	19	1.4896
3	3	0.2352	3	4	0.3136
4	6	0.4704	4	6	0.4704
5	5	0.392	5	7	0.5488
6	11	0.8624	6	10	0.784
7	10	0.784	7	17	1.3328
8	32	2.5088	8	17	1.3328
9	33	2.5872	9	21	1.6464
10	35	2.744	10	25	1.96

Sehingga didapatkan untuk nilai E pada kedalaman 10 meter yaitu 2,744 Mpa untuk titik S1 dan 1,96 Mpa untuk titik S2. Sehingga hasil dari Plaxis dapat ditampilkan berupa grafik deformasi seperti pada gambar 2. Dari hasil Plaxis tersebut didapatkan nilai deformasi untuk titik S1 adalah sebesar 0,718 meter.



Gambar 2. Grafik

Penurunan Sebelum

dilaksanakan *Treatment*.

4. Perhitungan Nilai Daya Dukung dan Deformasi Setelah *Treatment*

Perhitungan nilai daya dukung tanah setelah dilakukan *treatment* juga dilakukan. Hal ini untuk mengkonfirmasi bahwa terjadi kenaikan nilai daya dukung *ultimate* dan nilai daya dukung *allowable*. Perhitungan nilai daya dukung tanah sesudah *treatment* juga menggunakan rumus $q_u = 1,3 C_u N_c$ dimana, nilai N_c merupakan nilai faktor kapasitas daya dukung. Seperti yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Daya Dukung Tanah Setelah *Treatment* pada Titik S1 dan S2

Daya Dukung Tanah Berdasarkan Titik Sondir S1 (Sesudah Treatment)						Daya Dukung Tanah Berdasarkan Titik Sondir S2 (Sesudah Treatment)					
Kedalaman Titik Sondir	q_c	C_u	q_u	Safety Factor	q_{all}	Kedalaman Titik Sondir	q_c	C_u	q_u	Safety Factor	q_{all}
(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(F _s)	(kN/m ²)	(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(F _s)	(kN/m ²)
1	18	0,6	4,454	3	145,49	1	120	4,0	29,692	3	969,94
2	36	1,2	8,908	3	290,98	2	32	1,1	7,918	3	238,65
3	4	0,1	0,990	3	32,33	3	4	0,1	0,990	3	32,33
4	10	0,3	2,474	3	80,83	4	4	0,1	0,990	3	32,33
5	12	0,4	2,969	3	96,99	5	20	0,7	4,949	3	161,66
6	14	0,5	3,464	3	113,16	6	4	0,1	0,990	3	32,33
7	16	0,5	3,959	3	129,33	7	5	0,2	1,237	3	40,41
8	8	0,3	1,979	3	64,66	8	8	0,3	1,979	3	64,66
9	7	0,2	1,732	3	56,58	9	5	0,2	1,237	3	40,41
10	5	0,2	1,237	3	40,41	10	6	0,2	1,485	3	48,50

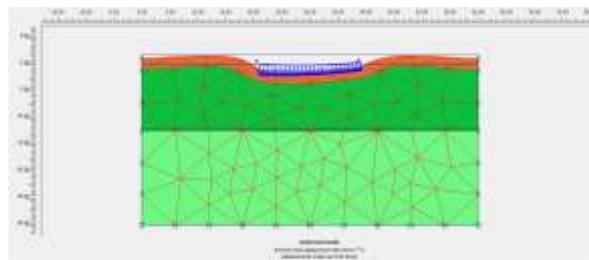
Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai perhitungan daya dukung tanah setelah *treatment* pada titik S1 $q_u = 8,909 \text{ kg/cm}^2$ dan untuk $q_{all} = 290,98 \text{ kN/m}^2$ pada kedalaman 2 meter. Sedangkan hasil perhitungan daya dukung tanah setelah *treatment* pada titik S2, $q_u = 29,692 \text{ kg/cm}^2$ dan $q_{all} = 969,94 \text{ kN/m}^2$ pada kedalaman 1 meter. Perhitungan sebelum *treatment* menunjukkan nilai daya dukung pada titik S1 adalah $q_u = 1,237 \text{ kg/cm}^2$ dan $q_{all} = 40,41 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan pada titik S2 $q_u = 6,186 \text{ kg/cm}^2$ dan $q_{all} = 202,07 \text{ kN/m}^2$. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan nilai daya dukung tanah *ultimate* dan *allowable* antara sebelum dan sesudah *treatment* dan kenaikannya pun cukup signifikan.

Di sisi lain nilai modulus elastisitas tanah pada tanah yang telah dilakukan *treatment* juga telah menunjukkan perubahan kenaikan nilai yang cukup signifikan. Seperti yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai E pada titik S1 dan titik S2 sesudah dilakukan *treatment*.

Data Sondir Titik S1			Data Sondir Titik S2		
Kedalaman Titik Sondir	qc	E	Kedalaman Titik Sondir	qc	E
(m)	(kg/cm ²)	Mpa	(m)	(kg/cm ²)	Mpa
1	18	1,4112	1	120	9,408
2	36	2,8224	2	32	2,5088
3	4	0,3136	3	4	0,3136
4	10	0,784	4	4	0,3136
5	12	0,9408	5	20	1,568
6	14	1,0976	6	4	0,3136
7	16	1,2544	7	5	0,392
8	8	0,6272	8	8	0,6272
9	7	0,5488	9	5	0,392
10	5	0,392	10	6	0,4704

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai yang cukup tinggi untuk menaikkan nilai modulus elastisitas tanah pada titik S1 yaitu 2,882 Mpa dan untuk titik S2 yaitu 9,408 Mpa. Kenaikkan nilai modulus elastisitas terjadi setelah dilaksanakan proses *treatment*. Nilai modulus elastisitas tanah ini akan mempengaruhi besaran dari nilai penurunan atau deformasi pada tanah setelah diberikan pembebanan.



Gambar 3. Deformasi Tanah Setelah Dilaksanakan *Treatment*.

Deformasi yang dihasilkan setelah diberikan kenaikan nilai modulus elastisitas tanah pada titik S1 adalah 0,688 meter.

SIMPULAN

Dari hasil kajian penelitian di atas simpulan yang dapat diberikan antara lain :

1. Tanah *treatment* dapat digunakan untuk mengatasi terjadinya penurunan bangunan gedung yang sudah ada. Metode *treatment* yang dapat digunakan antara lain yaitu metode *grouting*. Metode ini mampu untuk meningkatkan daya dukung tanah dibawah bangunan gedung yang sudah ada sehingga bangunan gedung yang sebelumnya dinyatakan tidak aman menjadi aman untuk digunakan.

2. Perhitungan penurunan sebaiknya dapat dilakukan untuk semua titik pengujian sondir (CPT), sehingga analisa perubahan nilai nilai kekuatan tanah dapat dilihat lebih luas dan lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

Bjerrum, L. (1972), *Embankment on Soft Ground*, Proc. Spec. Conf., Performance of Earth and earth Supported Structures, Lafayette, Ind. pp.1-54.

Bowles, J.E. (1997), *Foundation Analysis and Design*, 5th Ed., McGraw-Hill, International Editions, Singapore.

Coduto, D.P., (1994), *Foundation Design Principles and Practices*, Prentice-Hall, New Jersey.

Das, B.M., (1985), *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS Publisher, London.

Duncan, J.M. & Buchignani, A.L., (1976), *An Engineering Manual for Settlement Studies*, Geotechnical Engineering Report, University of California at Berkeley.

Hardiyatmo, H.C., (1992), *Mekanika Tanah 1*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Hardiyatmo, H.C., (1994), *Mekanika Tanah 2*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Janbu, N., Bjerrum, L., Kjaernsli, B. (1956), *Veiledning ved Losning av Fundamentering Soppgaver*, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.

Osterberg, J.O., (1957), *Influence Value for Vertical Stresses in Semi-infinite Mass Due to Embankment Loading*, Proc. 4th, Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Vol.1, 393 pp.

Terzaghi, K. and Peck, R.B., (1967), *Soil Mechanics In Engineering Practice*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.