

ANALISIS PENURUNAN TANAH DASAR PROYEK SEMARANG PUMPING STATION AND RETARDING POND BERDASAR EMPIRIS DAN NUMERIS

Tri Wahyu Kuningsih¹⁾ Pratikso²⁾ Abdul Rochim²⁾

¹⁾ Staf Pengajar Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
Jl. Sunter Permai Raya, Sunter Podomoro, Jakarta Utara

²⁾ Staf Pengajar Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
Jalan Raya Kaligawe KM. 4, Kota Semarang, Jawa Tengah

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan analisis penurunan tanah dasar di daerah *Pumping Station and Retarding Pond* Semarang. Untuk mengetahui besar penurunan tanah dan lama waktunya dilakukan analisis dengan perhitungan empiris menurut teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi dan numeris menggunakan PLAXIS. Data yang digunakan merupakan data tanah dari Proyek *Semarang Pumping Station and Retarding Pond*. Timbunan dilakukan setebal 11 meter dengan konstruksi bertahap. Kombinasi antara metode *preloading* dengan instalasi *prefabricated vertical drains* (PVD) merupakan salah satu metode mempercepat proses konsolidasi. Tanah daerah penelitian merupakan jenis SD (tanah lunak) memiliki potensi penurunan konsolidasi yang besar dan dalam waktu yang cukup lama. Hasil dari analisis empiris adalah penurunan total sebesar 2,5 cm / tahun sedangkan menggunakan program PLAXIS, rata – rata penurunan totalnya sebesar 9 cm / tahun. Menggunakan *vertical drain* pola segitiga dengan jarak 1 meter dan derajat konsolidasi 90%, waktu penurunan tanah hanya terjadi selama 2,96 minggu.

Kata kunci : penurunan tanah, PLAXIS, *pre-fabricated vertical drain*, *preloading*, *Semarang Pumping Station and Retarding Pond*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada beberapa kota besar yang umumnya terletak di dekat pantai, kondisi tanah asli adalah lunak dan mempunyai ketinggian lebih rendah dari prasarana sekelilingnya, sehingga membutuhkan adanya urugan tanah. Akibat dari urugan tanah dan beban dari bangunan, lapisan tanah liat yang kompresibel akan mengalami penambahan tekanan yang menyebabkan terjadinya penurunan (*settlement*). Penurunan tanah yang cukup besar dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan di atasnya. Jenis tanah di proyek Semarang *Pumping Station and Retarding Pond* adalah tanah lunak yang mudah mampat sehingga dimungkinkan akan mengalami penurunan. Tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat kecil, bersifat kompresibel, memiliki angka pori (e) yang besar, dan permeabilitas yang kecil, sehingga penambahan beban akan menyebabkan penurunan yang besar dan membutuhkan waktu yang sangat lama.

Oleh karena itu, dalam perencanaan talud diperlukan ketelitian dalam perhitungan penurunan konsolidasi dan prediksi waktu yang diperlukan untuk mencapai konsolidasi maksimum. Jika waktu yang menjadi kendala, maka lama penurunan ini bisa dipercepat.

Berdasarkan data profil tanah daerah Kali Semarang yang ada di dua titik pengeboran BH-1 dan BH-2 sampai dengan kedalaman 30 meter nilai N-SPT rata-rata lebih kecil dari 10 yang mengindikasikan tanah ini adalah tanah lunak. Pada tanah BH-1 dijumpai tanah keras (*very dense soil*) mulai kedalaman 48 meter sedangkan pada tanah BH-2 mulai kedalaman 52 meter. Dari hasil analisis tanah dasar pada titik BH-1 dan BH-2 menurut UBC 1997 dikategorikan tanah tipe SE sehingga disimpulkan tanah dasar ini adalah tanah lunak (Rochim, 2012).

1.2 Tujuan

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui :

- tipe tanah lokasi penelitian di area perencanaan talud sungai pada proyek *Semarang Pumping Station And Retarding Pond*,
- besarnya penurunan tanah yang diakibatkan beban berupa tanah timbunan dengan perhitungan manual dan perhitungan dengan program PLAXIS,
- waktu selama proses konsolidasi sampai mencapai konsolidasi 90% dan besar tekanan air pori selama proses konstruksi,
- stabilitas tanah di proyek *Semarang Pumping Station And Retarding Pond*, dengan cara *preloading* dan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*).

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nilai V_s Berdasarkan N-SPT

Nilai kecepatan rambat gelombang geser (V_s) atau modulus geser maksimum (G_{max}) biasanya dikorelasikan dengan kuat geser yang diperoleh dari tes laboratorium ataupun besaran – besaran yang diperoleh dari tes lapangan seperti nilai N – SPT dan q_c sondir. Beberapa peneliti telah mengajukan korelasi empiris antara G_{max} atau V_s dengan parameter – parameter tersebut.

Diantara korelasi tersebut, Imai, Tonouchi (1982) yang mengkorelasikan nilai G_{max} dan V_s berdasarkan nilai $N - SPT$ sebagai berikut : $G_{max} = 14070 N^{0,68}$ (kPa) dan $V_s = 96,9 N^{0,314}$ (m/s).

2.2 Penentuan Kelas Site Tanah

Dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan perlu diketahui tipe profil / klas site tanah dasar sebagai material tempat konstruksi itu berdiri. Penentuan klas site ini penting selain untuk mengetahui seberapa besar tanah dasar mengalami kompresibel juga untuk penentuan parameter tanah yang tepat sebagai input suatu desain. Untuk menentukan klas site dapat digunakan tipe profil tanah berdasarkan standar UBC 1997 yang dihitung berdasarkan kedalaman tanah minimal 30 meter, sehingga dalam suatu investigasi tanah baik dengan tes lapangan SPT maupun sondir sebaiknya mencapai kedalaman 30 meter. Menurut UBC 1997 ini klas site dibagi menjadi lima macam tanah yaitu SA, SB, SC, SD, dan SE (Tabel 1), dimana penentuan klas site tanah ini berdasarkan nilai N-SPT atau nilai kecepatan rambat gelombang geser (V_s).

Tabel 1 Propertis Dinamik Tanah menurut UBC 1997

Golongan	Jenis Tanah	Kriteria	
		V_s (m / dt)	N (SPT)
SA	Batuan Keras	> 1500	-
SB	Batuan Keras	760 - 1500	-
SC	Tanah Sangat padat / batuan lunak	360 - 760	> 50
SD	Lempung Kaku	180 - 360	15 - 50
SE	Lempung Lunak	< 180	< 15

2.3 Metode Perbaikan Tanah untuk Mempercepat Penurunan Tanah (*preloading*)

Dalam pekerjaan perbaikan tanah lunak dikenal teknik *preloading*. *Preloading* adalah beban sementara (*surchage*) yang diletakkan pada suatu lahan konstruksi, yang berfungsi untuk memperbaiki kondisi daya dukung tanah dasar di mana konstruksi akan didirikan. *Preloading* yang paling sederhana adalah dengan menggunakan tanah timbunan (*embankment*).

2.4 Besar dan Waktu Penurunan Tanah

Penurunan total (S_t) yang dihitung meliputi penjumlahan perhitungan segera (S_i) dan perhitungan akibat konsolidasi (S_c) (Hardiyatmo, 2002).

Penurunan segera :

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \quad C = \frac{1,5qc}{p_o'}$$

Penurunan akibat konsolidasi :

$$S_c = \frac{c_c \times H}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \right)$$

keterangan :

$$\Delta p = Q * \text{isobar boussineq value}$$

Untuk memperkirakan lamanya waktu penurunan tanah yang akan terjadi digunakan formula sebagai berikut :

$$t = \frac{H^2 T_v}{C_v}$$

2.5 Pre-fabricated Vertical Drain (PVD)

Persamaan derajat konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan sistem PVD menurut Carillo, N., Single Two-and Three-Dimensional Cases in the Theory of Consolidation of Soils, *Journal of Mathematics and Physics*, 21(1), 1942, pp. 1-5. adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{D^2}{8C_h} \left[\ln \left(\frac{D}{d} \right) - \frac{3}{4} \right] \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right)$$

keterangan :

- t = Perhitungan penurunan dengan PVD
- D = Diameter ekuivalen akibat pengaruh PVD
 - D = 1,13 D_s (pola pemasangan bujur sangkar)
 - D = 1,05 D_s (pola pemasangan segitiga)
- S = Jarak pemasangan PVD
- d = Diameter ekuivalen dari PVD
- $d = \frac{(a+b)}{2}$; a : tebal PVD b : lebar PVD
- U_h = Derajat konsolidasi tanah arah horizontal
- C_h = Koefisien konsolidasi arah horizontal

3 METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan – tahapan yang digunakan untuk penyelesaian penelitian :

a. Pengumpulan Data Tanah

Data – data yang digunakan merupakan data tanah dari Proyek *Semarang Pumping Station and Retarding Pond*, berupa data SPT yang menghasilkan nilai daya dukung N – SPT dan data boring. Batas kedalaman minimum data tanah yang dibutuhkan adalah 30 meter.

b. Pengolahan Data Tanah

Data SPT kemudian diolah untuk mengetahui nilai N – SPT rata – rata berdasarkan pelapisan tanah yang ada yang telah dikelompokkan apakah tanah pasir atau lempung. Data boring yang mencakup parameter tanah c, phi, *void ratio*, koefisien pemampatan, dll.

c. Perhitungan Tipe Kelas Tanah Proyek *Semarang Pumping Station and Retarding Pond*

Untuk menghitung tipe kelas tanah ini maka dibutuhkan data lapisan tanah Proyek Semarang *Pumping Station and Retarding Pond* (N – SPT) dengan kedalaman minimal 30 meter dari permukaan tanah dasar.

d. Perencanaan *Preloading* Bertahap

Tanah yang lunak tidak dimungkinkan untuk langsung dibebani timbunan yang tinggi karena timbunan akan tenggelam dan longsor. Perlu diketahui berapa tinggi timbunan yang boleh diterapkan (tinggi kritis) di tanah tersebut yang disesuaikan dengan daya dukung tanah yang ada.

e. Analisis Penurunan Tanah dengan Metode *Preloading*

Penurunan tanah akan dianalisis dengan memberikan beban timbunan (*preloading*). Timbunan dilakukan secara bertahap (*stage construction*) sehingga akan bisa dipantau naiknya daya dukung tanah pada sebarang waktu. Perhitungan ini dikerjakan secara manual dan menggunakan program Plaxis 8.6.

f. Analisis Penurunan Tanah dengan *Preloading* dan *Vertikal Drain*

Penurunan tanah akan dianalisis dengan memberikan vertikal dan horisontal drain pada tanah dasar dan beban timbunan (*preloading*).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Tanah Dasar

Dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan perlu diketahui tipe profil / klas site tanah dasar sebagai material tempat konstruksi itu berdiri. Penentuan klas site ini penting selain untuk mengetahui seberapa besar tanah dasar mengalami kompresibel juga untuk penentuan parameter tanah yang tepat sebagai input suatu desain. Untuk menentukan klas site dapat digunakan tipe profil tanah berdasarkan standar UBC 1997 yang dihitung berdasarkan kedalaman tanah minimal 30 meter, sehingga dalam suatu investigasi tanah baik dengan tes lapangan SPT maupun sondir sebaiknya mencapai kedalaman 30 meter. Menurut UBC 1997 ini klas site dibagi menjadi lima macam tanah yaitu SA, SB, SC, SD, dan SE, dimana penentuan klas site tanah ini berdasarkan nilai N-SPT atau nilai kecepatan rambat gelombang geser (V_s).

Nilai kecepatan rambat gelombang geser (V_s) atau modulus geser maksimum (G_{max}) biasanya dikorelasikan dengan kuat geser yang diperoleh dari tes laboratorium ataupun besaran-besaran yang diperoleh dari tes lapangan seperti nilai N – SPT dan q_c sondir. Beberapa peneliti telah mengajukan korelasi empiris antara G_{max} atau V_s dengan parameter – parameter tersebut. Diantara korelasi tersebut, Imai, Tonouchi (1982) yang mengkorelasikan nilai G_{max} dan V_s berdasarkan nilai N-SPT sebagai berikut : $G_{max} = 14070 N^{0.68}$ (kPa) dan $V_s = 96.9 N^{0.314}$ (m/s).

Berdasarkan data profil tanah yang ada yaitu Titik 1 (Tabel 2) dan Titik 2 (Tabel 3) sampai dengan kedalaman 20 meter nilai N – SPT rata – rata lebih kecil dari 10 yang mengindikasikan tanah ini adalah tanah lunak. Pada Titik 1 dan Titik 2 diperkirakan tanah yang mengalami kompresibel sampai kedalaman 22 sampai dengan 28 meter dengan asumsi bahwa untuk tanah lempung (*clay*) dengan nilai N – SPT lebih kecil dari 20 akan mengalami penurunan. Pada tanah Titik 1 dan Titik 2 dijumpai tanah keras (*very dense soil*) mulai kedalaman 36 meter.

Dari hasil analisis tanah dasar pada Titik 1 dan Titik 2 seperti yang disajikan pada Tabel 2 dan 3 didapatkan nilai V_s (Imai, Tonouchi, 1982) rata-rata antara 180 – 360 m/s yang menurut UBC 1997 dikategorikan tanah tipe SD sehingga disimpulkan tanah dasar ini adalah lempung kaku.

Tabel 2 Tipe Klas Site Titik 1

Titik Sampel	Nomor	Jenis Lapisan	Tebal (m) di	N rata-rata	G max (kPa)	Vs (m/s)	Klas Site UBC 1997	
BH-07	1	clayey sand	2	2	22542,106	120,461	SE	soft soil
	2	sandy clay	14	3,852	35201,467	147,989	SE	soft soil
	3	sandy clay	2	12	76232,005	211,440	SD	stiff soil
	4	sandy clay	8	10,021	67439,388	199,807	SD	stiff soil
	5	sandy clay	4	35,324	158847,950	296,768	SD	stiff soil
	6	gravely sand	6	54	211993,163	339,075	SD	stiff soil

Tabel 3 Tipe Klas Site Titik 2

Titik Sampel	Nomor	Jenis Lapisan	Tebal (m) di	N rata-rata	G max (kPa)	Vs (m/s)	Klas Site UBC 1997	
BH-08	1	clayey sand	2	3	29635,316	136,817	SE	soft soil
	2	sandy clay	20	4,84	41026,262	158,988	SE	soft soil
	3	sandy clay	2	22	114872,092	255,767	SD	stiff soil
	4	sandy clay	4	29,492	140205,800	280,421	SD	stiff soil
	5	sandy clay	4	52,457	207411,797	336,002	SD	stiff soil
	6	sandy clay	2	44	184041,146	317,957	SD	stiff soil
	7	Gravely sand	6	60	227253,174	350,480	SD	stiff soil

4.2 Perhitungan Penurunan Tanah

Penurunan total (S_t) yang dihitung meliputi penjumlahan perhitungan segera (S_i) dan perhitungan akibat konsolidasi (S_c), yaitu 2,5 cm / tahun untuk (Titik 1) dan (Titik 2). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5 dan 8.

4.3 Tinggi Timbunan Kritis

Beban timbunan (Δp) dibuat setara 11 m x 1,8 kN / m³ = 187 kN / m²

Beban timbunan total 11 meter ini digunakan untuk menentukan besarnya penurunan, sedangkan berdasarkan daya dukung tanah yang sebenarnya tidak sebesar 11 meter langsung tetapi hanya 6 meter. Adapun perhitungan untuk tinggi timbunan kritis adalah sebagai berikut (Titik 1 diambil karena lebih kritis) :

$$H_{\text{kritis}} = (5,14 \times 0,408) / (\gamma \times SF)$$

$$H_{\text{kritis}} = (5,14 \times 0,408) / (0,0018 \times 2)$$

$$= 5,82 \approx 6 \text{ meter, dan seterusnya disajikan pada Tabel 4.}$$

Setelah terkonsolidasi, daya dukung tambah bertambah, dengan kenaikan nilai kohesi.

$$c_1 = c_0 + (0,22 \times \Delta p), \text{ dengan } \Delta p = \text{beban timbunan (kN / m}^2\text{)}$$

Tabel 4 Tinggi Pelapisan Tanah Timbunan

Timbunan	Tinggi per lapis (m)	Tinggi Kumulatif (m)
Lapis 1	6	6
Lapis 2	3	9
Lapis 3	2	11

Tabel 5 Hasil Analisis Manual Penurunan Segera dan Konsolidasi

Tinggi Timbunan (m)	Penurunan Segera (m)	Penurunan Konsolidasi (m)	Penurunan Total (m)
6	1,463	2,157	3,620
9	1,998	2,712	4,710
11	2,318	3,020	5,339

4.4 Waktu Penurunan Tanah

Dengan memasukkan harga $H = 40$ meter (double drainage), $T_v = 0.848$ (untuk $U_h 90\%$) dan C_v rata – rata = $0.002 \text{ cm}^2/\text{detik}$ pada rumus waktu penurunan maka dapat diketahui bahwa lamanya waktu penurunan tanah yang akan terjadi adalah 215 tahun pada kondisi derajat konsolidasi tanah mencapai $U_h = 90\%$.

Salah satu alternatif metode perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah ini dalam hal ini mempersingkat waktu konsolidasi adalah dengan metode prakompresi dengan penggunaan vertical drain.

4.5 Analisis Penurunan Tanah dengan Plaxis

Pemodelan tanah dasar dan timbunan

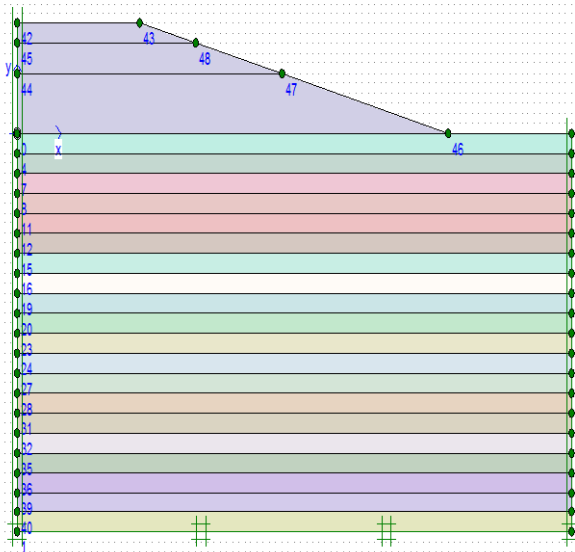
Pada perhitungan ini timbunan dilaksanakan dalam tiga tahap, dengan setiap tahap penimbunan kemudian dikonsolidasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 7 untuk Stage 2, 4 dan 6 adalah tahap konsolidasi. Setelah itu dilakukan tahap kedua sampai ketiga. Untuk nilai modulus elastisitas dan *poisson ratio* digunakan seperti pada Tabel 6.

Daya dukung tanah melemah jika tekanan air pori besar, demikian juga sebaliknya daya dukung tanah akan membesar jika tekanan air pori kecil. Dalam perkembangannya karena meningkatnya kebutuhan infrastruktur seperti jalan dll, maka tanah dasar mengalami pembebanan dimana akibat pembebanan ini terjadi peningkatan *excess pore pressure*, yaitu naiknya air pori dari posisi pizometrik / tunak. Kenaikan ini menjadi masalah tersendiri karena melemahkan daya dukung tanah terhadap beban yang ada di atasnya, sehingga akibatnya jalan jadi cepat rusak karena terjadi penurunan yang tidak merata. Untuk menurunkan *excess pore pressure* ke posisi pisometrik / tunak, disebut dengan konsolidasi. Konsolidasi ini dimaksudkan untuk menaikkan tegangan efektif tanah yang berarti menaikkan daya dukung / kekuatan tanah. Saat tanah dibebani pertama sekali dengan tanah timbunan, yaitu posisi Phase 1 (Tabel 7) terjadi kenaikan air pori dari 0 ke $80,30 \text{ kN/m}^2$ dengan tegangan tanah efektifnya $365,86$

kN/m², kemudian setelah dikonsolidasi (Phase 2) terjadi penurunan *excess pore pressure* menjadi 0,188 kN/m² dengan kenaikan tegangan efektif sebesar 368,12 kN/m².

4.6 Perhitungan *Vertical Drain*

Berdasarkan formula yang ada dengan pemasangan vertikal drain pola segitiga maka hubungan antara jarak pemasangan PVD dengan waktu penurunan tanah dasar pada derajat konsolidasi 90 adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9.



Gambar 1 Bentuk Geometry Lines pada PLAXIS

Tabel 6 Input nilai modulus elastisitas dan poisson ratio tanah dasar dalam PLAXIS

Jenis Tanah	E (kN/m ²)	Poisson Ratio	Jenis Tanah	E (kN/m ²)	Poisson Ratio
Tanah 1	1400	0.3	Tanah 12	7000	0.3
Tanah 2	1400	0.3	Tanah 13	9100	0.3
Tanah 3	2100	0.3	Tanah 14	13300	0.3
Tanah 4	2100	0.3	Tanah 15	18200	0.3
Tanah 5	2800	0.3	Tanah 16	23100	0.3
Tanah 6	3500	0.3	Tanah 17	26600	0.3
Tanah 7	4200	0.3	Tanah 18	31500	0.4
Tanah 8	4900	0.3	Tanah 19	42000	0.4
Tanah 9	8400	0.3	Tanah 20	42000	0.4
Tanah 10	6300	0.3	Timbunan	42000	0.4
Tanah 11	6300	0.3			

Tabel 7 Hasil Analisis Plaxis

Phase	Total Displacement		Tekanan Air Pori (kN / m ²)		Tegangan (kN / m ²)	
	Plastis	Consolidation	Active PP	Excess PP	Total	Efektif
Initial phase	0,000	0,000	-396,67	0,000	-693,16	-296,5
Phase 1	0,182		-402,06	-80,300	-762,53	-365,86
Phase 2		0,451	-396,67	-0,188	-764,79	-368,12
Phase 3	0,072		-396,67	-41,200	-796,78	-400,12
Phase 4		0,211	-396,67	-0,766	-797,2	-400,54
Phase 5	0,056		-396,67	-26,840	-814,16	-417,49
Phase 6		0,167	-396,67	-0,379	-815,02	-418,35
TOTAL	0,310	0,830				

Tabel 8 Perbandingan Waktu Penurunan Hasil Analisis Manual dan Plaxis

Penurunan Total (meter)		Waktu Penurunan (tahun)		Waktu penurunan per tahun (cm)	
Manual	Plaxis	Manual	Plaxis	Manual	Plaxis
5,339	1,139	215	13	2,5	9

4.7 Perhitungan Vertical Drain

Berdasarkan formula yang ada dengan pemasangan vertikal drain pola segitiga maka hubungan antara jarak pemasangan PVD dengan waktu penurunan tanah dasar pada derajat konsolidasi 90 adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Hubungan Jarak PVD dan Waktu Penurunan

Jarak Pemasangan <i>Vertical Drains</i>	Waktu Penurunan (Ur = 90%)
0,90 meter	2.28 minggu
1,00 meter	2.96 minggu
1,10 meter	3.73 minggu
1,20 meter	4.60 minggu
1,30 meter	5.58 minggu

4.8 Hasil Perencanaan Perbaikan Tanah

Data hasil analisis penurunan tanah pada Proyek *Semarang Pumping Station and Retarding Pond* adalah sebagai berikut :

- Kedalaman pemasangan PVD : 40 m
- Pola pemasangan PVD : segitiga
- Jarak titik pemasangan PVD : 1,0 m
- Tinggi timbunan tanah : 11 m

Waktu tunggu konsolidasi : 2,96 minggu

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- a. Berdasarkan data profil tanah proyek Semarang *Pumping Station and Retarding Pond* yang ada di dua titik pengeboran Titik 1 dan Titik 2 sampai dengan kedalaman 40 meter. Dari hasil analisis tanah dasar pada Titik 1 dan Titik 2 menurut UBC 1997 dikategorikan tanah tipe SD sehingga disimpulkan tanah dasar ini adalah lempung kaku.
- b. Pada perhitungan tinggi timbunan berdasarkan daya dukung tanah dasar didapatkan tinggi timbunan 6 meter yang kemudian daya dukung bertambah karena dianggap telah terkonsolidasi ditambah timbunan setinggi 3 meter dan dengan cara yang sama terakhir ditambahkan 2 meter lagi, sehingga total timbunan 11 meter. Penerapan timbunan yang bertahap (*stage construction*) digunakan ketika menghitung penurunan dengan metode finite element dengan bantuan program aplikasi komputer Plaxis 7.20, sedangkan pada perhitungan penurunan dengan cara manual tinggi timbunan yang dipakai adalah tinggi timbunan total 11 meter. Lama waktu penurunan tanah yang akan terjadi adalah 215 tahun pada kondisi derajat konsolidasi tanah mencapai $U_r = 90\%$, dan besar penurunan sebesar $\pm 5,306 - 5,339$ m yang artinya mengalami penurunan 2,5 cm / tahun. Pada umur 10 tahun sejak lahan dipergunakan diperkirakan konsolidasi tanah dasar baru mencapai $\pm 40\%$.
- c. Untuk menurunkan *excess pore pressure* ke posisi pisometrik / tunak, dapat dilakukan dengan konsolidasi yang dimaksudkan untuk menaikkan tegangan efektif tanah yang berarti menaikkan daya dukung / kekuatan tanah. Saat tanah dibebani pertama sekali dengan tanah timbunan, yaitu posisi Phase 1 (Tabel 9) terjadi kenaikan air pori dari 0 ke 80,30 kN/m² dengan tegangan tanah efektifnya 365,9 kN/m², kemudian setelah dikonsolidasi (Phase 2) terjadi penurunan *excess pore pressure* menjadi 0,19 kN/m² dengan kenaikan tegangan efektif sebesar 368,1 kN/m².
- d. Penentuan kedalaman pemasangan vertical drain tidak dilakukan perhitungan melainkan hanya berdasarkan pada kondisi lapisan tanah dasar. Dalam hal ini kedalaman pemasangan vertical drain ditentukan rata – rata sedalam 40 m. Menggunakan vertical drain pola segitiga dengan jarak 1 meter dan derajat konsolidasi 90%, waktu penurunan tanah hanya terjadi selama 2,96 minggu.

5.2 Saran

- a. Setiap sampel tanah perlu diuji di laboratorium untuk hasil analisis yang lebih akurat.
- b. Perlu diuji juga penurunan tanah di laboratorium mekanika tanah untuk membandingkan dengan analisis empiris dan numeris.
- c. Bisa dibuat pemetaan penurunan tanah untuk kawasan Semarang Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Binamarga, 2010, Data Tanah Disposal Area Kali Banger Semarang, Semarang.
- Carillo, N., Single Two-and Three-Dimensional Cases in the Theory of Consolidation of Soils, Journal of Mathematics and Physics, 21 (1), 1942, pp.1-5
- Das B.M, 1998, Mekanika Tanah (Prinsip Rekayasa Geoteknis), 1 dan 2, Terjemahan, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, Mekanika Tanah II, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Rochim, Abdul. 2012. Model Stabilisasi Tanah Dasar Untuk Disposal Area Kali Semarang. Majalah Ilmiah Sultan Agung. Semarang.
- Uniform Building Code (UBC) – 1997, International Building Office, Whittier, California.