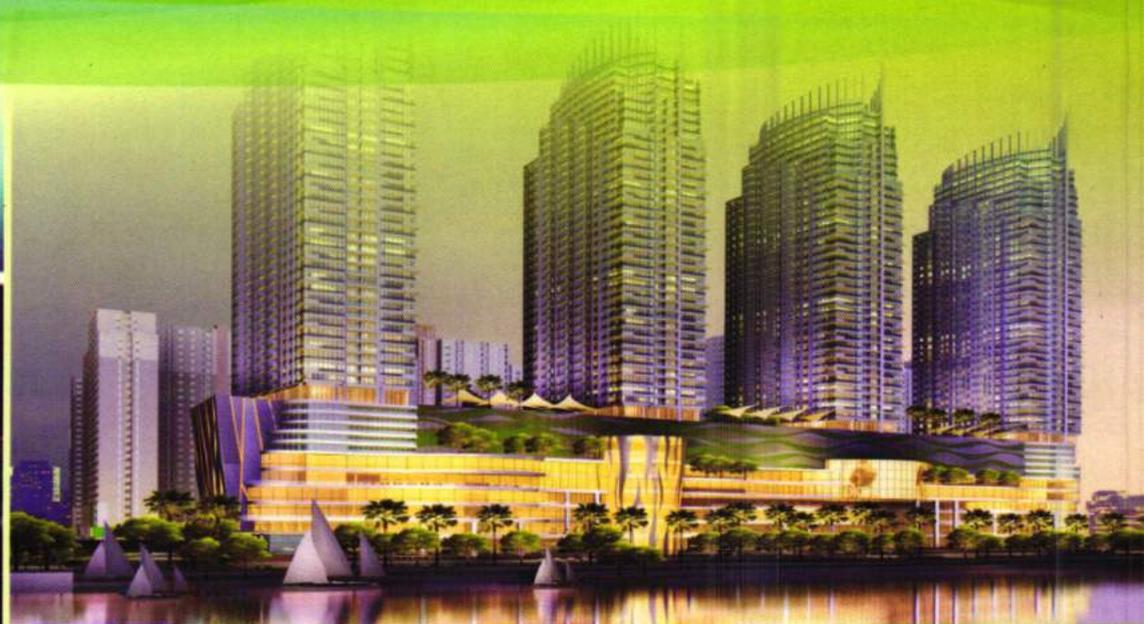
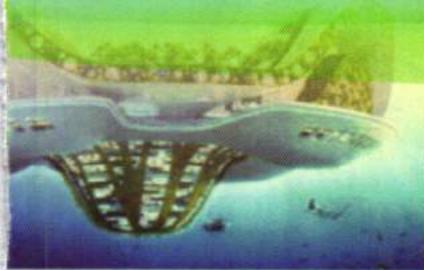


Prosiding

SEMINAR NASIONAL KEBIJAKAN DAN STRATEGI DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR PENGEMBANGAN WILAYAH BERBASIS GREEN TECHNOLOGY &

Selasa, 10 Juli 2012



ISBN 978-602-7525-08-5

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL

KEBIJAKAN DAN STRATEGI DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR PENGEMBANGAN WILAYAH BERBASIS GREEN TECHNOLOGY



Pelindung/Patron

Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, MM, MT

Reviewer

Prof. Dr. H. A. Sudibyakto, M. S.

Dr. Ir. Nuraji, M. T.

Penanggung Jawab/Publisher

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Pemimpin Redaksi/Editor in Chief

Dr. Henny Pratiwi Adi, ST, MT

Dewan Redaksi/Editorial Board

Al Aswad, ST, MT

Ardiana Yuli Puspitasari, ST, MT

Alamat/Address

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km. 4 PO. BOX 1054 Semarang 50012

Telp. (024) 6583584 Ext. 510 Fax. (024) 6582455

www.unissula.ac.id

STABILITAS TANAH DASAR DAERAH TANAH LUNAK

Abdul Rochim³¹, Tri Wahyu Kuningsih³²

ABSTRAK

Studi ini menyajikan analisis stabilitas tanah dasar di daerah *Pumping Station and Retarding Pond* Semarang Untuk mengetahui besar penurunan tanah dan lama waktunya dilakukan analisis dengan perhitungan manual menurut teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi dan dengan program PLAXIS. Data – 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 untuk mempercepat proses konsolidasi. Tanah daerah *Pumping Station and Retarding Pond* merupakan jenis SD (tanah lunak). Tanah ini cenderung memiliki potensi penurunan konsolidasi yang besar dan dalam waktu yang cukup lama. Hasil yang didapat dari analisis manual adalah penurunan total sebesar 2,5 cm / tahun. Sedangkan dengan 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*.

³¹ Staf Pengajar Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang
Email: abd_rch@yahoo.com

³² Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA Semarang

I. PENDAHULUAN

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. Oleh sebab itu masalah penurunan tanah sangat penting dalam rekayasa teknik sipil dan tidak boleh diabaikan. 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.

Tujuan Penelitian akan mencakup :

- Menentukan tipe tanah lokasi penelitian di area perencanaan talud sungai pada proyek *Semarang Pumping Station And Retarding Pond*.
- Mengetahui besarnya penurunan tanah yang diakibatkan beban berupa tanah timbunan dengan perhitungan manual dan perhitungan dengan program PLAXIS.
- Mengetahui waktu selama proses konsolidasi sampai mencapai

konsolidasi 90% dan besar tekanan air pori selama proses konstruksi.

- Mengetahui stabilitas tanah di proyek *Semarang Pumping Station And Retarding Pond*, dengan cara *preloading* dan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

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)

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

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*).

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. Mekanika Tanah II).

Penurunan segera:

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

di mana $\Delta p = Q^*$ isobar *boussineq value*

Penurunan akibat konsolidasi:

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

$\Delta p = Q^*$ isobar *boussinesq value*

Untuk memperkirakan lamanya waktu penurunan tanah yang akan digunakan formula sebagai

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

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 :

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

dengan :

t = Perhitungan penurunan dengan PVD

D= Diameter ekuivalen akibat pengaruh PVD

D= 1,13 Ds (pola pemasangan bujur sangkar)

D= 1,05 Ds (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

III. METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan – tahapan yang digunakan untuk penyelesaian penelitian :

- 1. 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.
- 2. 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 , ϕ , void ratio, koefisien pemampatan, dll.
- 3. 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.
- 4. 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.
- 5. 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 7.20.

6. 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*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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	No	Jenis Lapisan	Tebal (m) di	N rata-rata	G max	Vs	Klas site menurut UBC 1997	
BH - 07	1	clayey sand	2	2	22542,11	120,46	SE	soft soil
	2	sandy clay	14	4	35201,47	147,99	SE	soft soil
	3	sandy clay	2	12	76232,01	211,44	SD	stiff soil
	4	sandy clay	8	10	67439,39	199,81	SD	stiff soil
	5	sandy clay	4	35	158847,95	296,77	SD	stiff soil
	6	gravely sand	6	54	211993,16	339,07	SD	stiff soil

Tabel 3 Tipe Klas Site Titik 2

Titik Sampel	No	Jenis Lapisan	Tebal (m) di	N rata-rata	G max	Vs	Klas site menurut UBC 1997	
BH - 08	1	clayey sand	2	3	29635,32	136,82	SE	soft soil
	2	sandy clay	20	5	41026,26	158,99	SE	soft soil
	3	sandy clay	2	22	114872,09	255,77	SD	stiff soil
	4	sandy clay	4	29	140205,80	280,42	SD	stiff soil
	5	sandy clay	4	52	207411,80	336,00	SD	stiff soil
	6	sandy clay	2	44	184041,15	317,96	SD	stiff soil

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.

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):

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

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

= 5,82 ≈ 6 meter, dan seterusnya (Tabel 4)

$c_1 = c_0 + (0.22 \times \Delta p)$, dengan $\Delta p =$ beban timbunan (kN / m²)

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

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

Waktu Penurunan Tanah

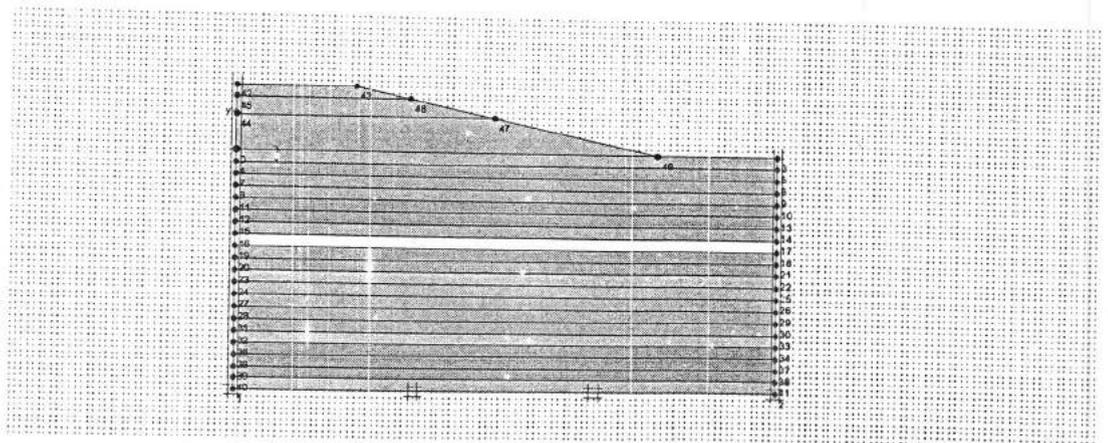
Dengan memasukkan harga $H = 40$ meter (*double drainage*), $T_v = 0.848$ (untuk $U_h 90\%$) dan C_v rata – rata = 0.002 cm²/detik pada rumus waktu penurunan maka dapat diketahui bahwa lamanya waktu penurunan tanah yang akan terjadi adalah 215 tahun pada kondisi derajat konsolidasi tanah mencapai $U_h = 90\%$.

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

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.



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

Terdapat hubungan yang erat antara daya dukung tanah, yang diwakili oleh tegangan efektif tanah, dengan keberadaan air pori. Daya dukung tanah akan melemah jika tekanan air pori besar, demikian juga sebaliknya daya dukung tanah akan membesar jika tekanan air pori kecil. Saat tanah dasar tidak mengalami pembebanan apapun, pada tanah tersebut tidak akan mengalami air pori berlebihan (*excess pore pressure*) sehingga bisa dikatakan daya dukungnya tidak mengalami perubahan kekuatan. Dalam perkembangannya karena meningkatnya kebutuhan infrastruktur seperti jalan dll, maka tanah dasar akan

mengalami pembebanan dimana akibat pembebanan ini akan terjadi peningkatan *excess pore pressure*, yaitu naiknya air pori dari posisi pizometrik / tunak. Kenaikan ini akan menjadi masalah tersendiri karena akan 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 $365,86 \text{ kN/m}^2$, kemudian setelah dikonsolidasi (*Phase 2*) terjadi penurunan *excess pore pressure* menjadi $0,188 \text{ kN/m}^2$ dengan kenaikan tegangan efektif sebesar $368,12 \text{ kN/m}^2$.

Perhitungan Vertikal 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 ($U_r = 90\%$)
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

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

KESIMPULAN

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 Titik 1 dan Titik 2 menurut UBC 1997

dikategorikan tanah tipe SD sehingga disimpulkan tanah dasar ini adalah lempung kaku.

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 $\pm 5,306 - 5,339 \text{ m}$ yang artinya mengalami penurunan $2,5 \text{ cm}$ / tahun. Pada umur 10 tahun sejak lahan dipergunakan diperkirakan konsolidasi tanah dasar baru mencapai $\pm 40\%$.

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 $80,30 \text{ kN/m}^2$ dengan tegangan tanah efektifnya $365,9 \text{ kN/m}^2$, kemudian setelah dikonsolidasi (*Phase 2*) terjadi penurunan *excess pore pressure* menjadi $0,19 \text{ kN/m}^2$ dengan kenaikan tegangan efektif sebesar $368,1 \text{ kN/m}^2$.

Penentuan kedalaman pemasangan *vertical drain* tidak dilakukan perhitungan melainkan hanya berdasarkan pada kondisi lapisan tanah dasar. Dalam hal ini kedalaman pemasangan vertikal 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.

REFERENSI

- Hinamarga, 2010, *Data Tanah Disposals Area Kali Banger Semarang*, Semarang
- 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.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Teknik Pondasi I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Uniform Building Code (UBC) – 1997, International Building Office, Whittier, California.
- 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