

# MODEL STABILISASI TANAH DASAR UNTUK *DISPOSAL AREA* KALI SEMARANG

**Abdul Rochim**

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung  
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang  
Email: abd\_rch@yahoo.com

## ABSTRACT

*This study presents the analysis of ground settlement and stabilisation that aims to estimate the soil types, ground settlement and stabilization of the soil in Disposal Area Semarang River. The data of the two soils from this area was used as samples to represent the average soil condition. A preloading model by applying five meter embankment was used to consolidate the soil. To estimate the immediate and consolidation settlement and the change of excess pore water pressure, PLAXIS application program was used. Based on the analysis from 30 meter soil layer of the two soil samples, it was shown that this area of Semarang River had the soil type SE or soft soil. Having the embankment as load, there was the settlement as big as 2.57-2.64 meters in which took 64.5 years to happen with the consolidation degree 90 per cent that was equal to the settlement 4 centimeters per year. From the stage constructions in PLAXIS, the result was reliable as to the increase of shear strength after consolidating. It was shown that there was the increase of shear strength amounting to 13 per cent from 282.61 kN/m<sup>2</sup> (initial condition) to 318.75 kN/m<sup>2</sup> (after consolidation). To decrease the time for soil to consolidate, vertical and horizontal drains can be proposed. With the vertical drain having distance in between 1 meter and a triangle pattern, the time to reach the full settlement just 4.2 weeks.*

**Key words :** *Soil types, settlement, preloading, vertical drain, Disposal Area Kali Semarang*

## A. PENDAHULUAN

Perencanaan suatu konstruksi bangunan yang akan dibangun pada lahan hasil reklamasi pantai atau tanah lunak perlu sekali memperhatikan kekuatan tanah dasar tersebut. Lahan ini tidak bisa digunakan langsung tanpa perbaikan karena sifatnya yang mudah mampat. Untuk menanggulangi masalah tersebut dilakukan perbaikan tanah dasar dengan metoda prakompresi (konsolidasi). Dataran di sekitar Kali Semarang adalah daerah yang rencananya akan dibangun area pembuangan sampah (*disposal area*). Yang jadi permasalahan tanah dasar tempat *disposal area* yang akan dibangun adalah tanah lunak yang yang mudah mampat sehingga dimungkinkan akan mengalami penurunan. Kondisi tanah yang tidak baik ini harus diperbaiki dahulu sehingga daya dukung tanah menjadi cukup kuat untuk menahan beban yang ada di atasnya dan tidak lagi mengalami penurunan yang besar. Jika Besarnya penurunan dan lama waktu berlangsungnya penurunan tanah

perlu diketahui sebelum akhirnya bangunan disposal area bisa dilaksanakan. Jika waktu yang menjadi kendala, maka lama penurunan ini bisa dipercepat.

Tujuan Penelitian akan mencakup :

- (1) Penentuan kelas site tanah Kali Semarang, sehingga dari hasil estimasi ini bisa juga diketahui berapa percepatan maksimum di permukaan tanah.
- (2) Estimasi tinggi timbunan kritis yang diijinkan untuk diterapkan pada tanah dasar sebagai preloading.
- (3) Estimasi penurunan tanah dengan metoda preloading yang dilakukan dengan memberikan beban timbunan secara bertahap (*stage construction*).
- (4) Estimasi waktu penurunan tanah dengan metoda *preloading* dan vertikal drain.

## **B. 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:

$$G_{max} = 14070 N^{0.68} \text{ (kPa)} \text{ dan } V_s = 96.9 N^{0.314} \text{ (m/s)}.$$

### **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 2.1), dimana penentuan klas site tanah ini berdasarkan nilai N-SPT atau nilai kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ).

Tabel 1 Tipe Profil Tanah (UBC 1997)

Soil Prop.	Soil Prop. Name	Average soil properties 30 m	
		Vs (m/s)	N
SA	Hard Rock	> 1500	-
SB	Rock	760 - 1500	-
SC	Soft Rock	360 - 760	> 50
SD	Stiff Soil	180 - 360	15 - 50
SE	Soft Soil	< 180	< 15

### Prinsip Perbaikan Tanah Metoda Prakompresi (Preloading)

Metoda *preloading* yang digunakan adalah dengan memberi beban timbunan pada tanah dasar dengan ketentuan beban timbunan yang ditanggung tidak melebihi daya dukung tanah dasar permukaan. Dengan mereduksi kekuatan tanah dasar (faktor keamanan) yang bervariasi dari SF=1-2 didapatkan tinggi kritis timbunan yang boleh diterapkan pada tanah.

### 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:

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'}$$

$$C = \frac{1,5qc}{p_o'}$$

Penurunan akibat konsolidasi:

$$S_c = \left\{ \frac{Cc \cdot H_i}{1 + e_o} \right\} \times \log \left\{ \frac{(p_o' + \Delta p)}{p_o'} \right\}$$

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

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

### Perhitungan Vertikal Drain

Perhitungan vertikal drain yang utama adalah menentukan kedalaman pemasangan, pola dan jarak titik pemasangan vertikal drain. Untuk menentukan kedalaman pemasangan vertikal drain tidak dilakukan perhitungan melainkan hanya berdasarkan pada kondisi lapisan tanah dasar. Dalam hal ini kedalaman pemasangan vertikal drain ditentukan rata-rata. Sedangkan untuk menentukan pola serta jarak titik pemasangan vertikal drain digunakan formula berikut ini (Hardiyatmo, 2002. Mekanika Tanah II).

$$t = \left[ \frac{D^2}{8Ch} \right] \cdot F(n) \cdot \ln \left[ \frac{1}{1 - U_h} \right]$$

dengan:

T = waktu penurunan dengan adanya PV drain

D = diameter ekuivalen akibat pengaruh PV drain

S = jarak pemasangan PV drain

F(n) = fungsi hambatan akibat jarak antara PV drain =  $\ln(D/d_w) - (3/4)$

D<sub>w</sub> = diameter ekuivalen dari PV drain =  $(a+b)/2$ , a = tebal PVD, b = lebar PVD

U<sub>h</sub> = derajat konsolidasi tanah arah horizontal

Ch = indeks kompresi arah horizontal =  $2 \cdot C_v$

### C. METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan-tahapan yang digunakan untuk penyelesaian penelitian.

#### 1. Pengumpulan Data Tanah

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini antara data tanah Disposal Area berupa data sondir (Binamarga, 2008) yang menghasilkan nilai daya dukung tanah q<sub>c</sub> atau data SPT yang menghasilkan nilai daya dukung N-SPT, data boring yang mencakup parameter tanah c, phi, void ratio, koefisien pemampatan, dll. Batas kedalaman minimum data tanah yang dibutuhkan adalah 30 meter.

#### 2. Pengolahan Data Tanah

Data tanah sondir atau SPT kemudian diolah untuk mengetahui nilai q<sub>c</sub> atau N-SPT rata-rata berdasarkan pelapisan tanah yang ada yang telah dikelompokkan apakah tanah pasir atau lempung.

#### 3. Perhitungan Tipe Kelas Tanah Kali Semarang

Untuk menghitung tipe kelas tanah ini maka dibutuhkan data lapisan tanah Kali Semarang (N-SPT) dengan kedalaman minimal 30 meter dari permukaan tanah dasar. Dari estimasi ini bisa diketahui juga besarnya amplifikasi percepatan gempa dan besarnya percepatan gempa maksimum di permukaan tanah.

#### 4. Perhitungan Tinggi Kritis Timbunan Tanah

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. Estimasi Penurunan Tanah dengan Metoda Preloading

Penurunan tanah akan diestimasi dengan hanya memberikan beban timbunan (*preloading*). *Preloading* ini akan diterapkan bertahap (*stage construction*) sehingga akan bisa dipantau naiknya daya dukung tanah pada sebarang waktu. Perhitungan ini selain dikerjakan manual (Das B.M, 1998) juga akan menggunakan bantuan program Plaxis 7.20 (Vermeer, 1998).

## 6. Estimasi Penurunan Tanah dengan Preloading dan Vertikal Drain

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

## D. 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:

$$G_{max} = 14070 N^{0.68} \text{ (kPa)} \text{ dan } V_s = 96.9 N^{0.314} \text{ (m/s)}.$$

Berdasarkan data profil tanah yang ada yaitu titik BH-1 (Tabel 2) dan BH-2 (Tabel 3) sampai dengan kedalaman 30 meter nilai N-SPT rata-rata lebih kecil dari 10 yang mengindikasikan tanah ini adalah tanah lunak. Pada BH-1 dan BH-2 diperkirakan tanah yang mengalami kompresibel sampai kedalaman 30 sampai dengan 35 meter dengan asumsi bahwa untuk tanah lempung (clay) dengan nilai N-SPT lebih kecil dari 20 akan

mengalami penurunan. 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 seperti yang disajikan pada Tabel 2 dan 3 didapatkan nilai  $V_s$  (Imai, Tonouchi, 1982) lebih kecil dari 180 m/s yang menurut UBC 1997 dikategorikan tanah tipe SE sehingga disimpulkan tanah dasar ini adalah tanah lunak.

Tabel 2 Klas Site BH-1

Titik Sampel	No	Jenis Lapisan	tebal (m) di	N rata-rata	Gmax	Vs	Klas site menurut UBC 1997	
BH-1	1	Sand	3	4	36115.60	149.75	Softsand	SE
	2	Clay	3	5	42033.32	160.62	Softclay	SE
	3	Sand	2	3	29698.64	136.82	Softsand	SE
	4	Clay	22	5.40	44276.01	164.52	Softclay	SE

Tabel 3 Klas Site BH-2

Titik Sampel	No	Jenis Lapisan	tebal (m) di	N rata-rata	Gmax	Vs	Klas site menurut UBC 1997	
BH-2	1	Sand	2	1.5	18536.86	110.06	Softsand	SE
	2	Clay	4	3	29698.64	136.82	Softclay	SE
	3	Sand	2	3	29698.64	136.82	Softsand	SE
	4	Clay	22	5.75	46224.08	167.83	Softclay	SE

### Perhitungan Penurunan Tanah

Penurunan total ( $S_t$ ) yang dihitung meliputi penjumlahan perhitungan segera ( $S_i$ ) dan perhitungan akibat konsolidasi ( $S_c$ ), yaitu 257 cm (BH-1) dan 264 cm (BH-2). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

### Tinggi Timbunan Kritis

Beban timbunan ( $\Delta p$ ) dibuat setara  $5 \text{ m} \times 1.7 \text{ gr/cm}^3 = 850 \text{ gr/cm}^3$

Beban timbunan total 5 meter ini digunakan untuk menentukan besarnya penurunan, sedangkan berdasarkan daya dukung tanah yang sebenarnya tidak sebesar 5 meter langsung tetapi hanya 2 meter. Adapun perhitungan untuk tinggi timbunan kritis adalah sebagai berikut (BH-2 diambil karena lebih kritis):

$$H \text{ kritis} = (5.14 \times c) / (\gamma \times SF)$$

$$H \text{ kritis} = (5.14 \times 9.6) / (17 \times 1.5)$$

$$= 1.93 \approx 2 \text{ meter, dan seterusnya (Tabel 4)}$$

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 Komulatif (m)
Lapis 1	2	2
Lapis 2	1.5	3.5
Lapis 3	1.5	5

Tabel 5 Penurunan Segera, Konsolidasi, dan Total BH-1

Kedalaman (m)	c gr/cm <sup>2</sup>	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$\gamma$ gr/cm <sup>3</sup>	e	Cc	Cv cm <sup>2</sup> /min	$\gamma'$ gr/cm <sup>3</sup>	Hi cm
0 - 7.5	320	17.27	1.581	1.3	0.44	0.0171	0.601	750
7.5 - 17.5	19	6.077	1.58	1.328	0.4543	0.015	0.6	1000
17.5 - 27.5	745	13.428	1.593	1.263	0.3813	0.0159	0.613	1000
27.5 - 37.5	888	12.89	1.617	1.192	0.3583	0.0155	0.637	1000
37.5 - 47.5	24	12.437	1.642	1.169	0.3303	0.3215	0.662	1000
47.5 - 52.5	25	24.88	1.678	1.127	0.3215	0.099	0.698	500
Kedalaman (m)	po' gr/cm <sup>2</sup>	qc gr/cm <sup>2</sup>	$\ln((po'+\Delta p)/po')$		$(Hi*po')/(1.5*qc)$ cm		Si cm	Sc cm
0 - 7.5	225.375	20000	1.563		5.634		8.80	97.37
7.5 - 17.5	750.75	16000	0.757		31.281		23.68	57.14
17.5 - 27.5	1357.25	40000	0.486		22.621		11.00	24.99
27.5 - 37.5	1982.25	72000	0.357		18.354		6.55	13.79
37.5 - 47.5	2631.75	132000	0.280		13.292		3.72	6.12
47.5 - 52.5	3137.25	148000	0.240		7.066		1.69	1.31
Penurunan segera (Si) dan konsolidasi (Sc)							55.45	200.71
Penurunan total (St)							256.16	

Penurunan total pada titik BH-1 sebesar 257 cm

Tabel 6 Penurunan Segera, Konsolidasi, dan Total BH-2

Kedalaman (m)	c gr/cm <sup>2</sup>	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$\gamma$ gr/cm <sup>3</sup>	e	Cc	Cv cm <sup>2</sup> /min	$\gamma'$ gr/cm <sup>3</sup>	Hi cm
0 - 12.5	96	7.29	1.583	1.285	0.4897	0.01	0.603	1250
12.5 - 22.5	74	3.918	1.591	1.294	0.4206	0.0176	0.611	1000
22.5 - 27.5	138	6.449	1.595	1.266	0.4338	0.0121	0.615	500
27.5 - 32.5	148	7.426	1.627	1.151	0.3219	0.0098	0.647	500
32.5 - 42.5	858	18.462	1.643	1.166	0.3325	0.0176	0.663	1000
42.5 - 52.5	790	12.992	1.652	1.138	0.2927	0.0084	0.672	1000

Kedalaman (m)	$p_o'$ gr/cm <sup>2</sup>	$q_c$ gr/cm <sup>2</sup>	$\ln((p_o'+\Delta p)/p_o')$	$(H_i \cdot p_o')/(1.5 \cdot q_c)$ cm	$S_i$ cm	$S_c$ cm
0 - 12.5	376.875	20000	1.180	15.703	18.53	137.32
12.5 - 22.5	1059.25	24000	0.589	29.424	17.33	41.41
22.5 - 27.5	1518.5	36000	0.445	14.060	6.25	12.90
27.5 - 32.5	1834	48000	0.381	12.736	4.85	6.77
32.5 - 42.5	2327.25	88000	0.311	17.631	5.49	6.93
42.5 - 52.5	2994.75	156000	0.250	12.798	3.20	2.48
Penurunan segera ( $S_i$ ) dan konsolidasi ( $S_c$ )					55.66	207.81
Penurunan total ( $S_t$ )					263.47	

Penurunan total pada titik BH-2 sebesar 264 cm

### Waktu Penurunan Tanah

Penurunan tanah yang terjadi pada BH-1 dan BH-2 pada kedalaman sampai dengan 50 meter masih ada meskipun kecil sekali. Dalam pengambilan kedalaman tanah untuk analisis waktu penurunan tidak digunakan 50 meter tetapi hanya 40 meter karena pada kedalaman ini penurunan masih cukup besar dan dianggap pada kedalaman 50 meter sudah tidak ada penurunan. Menurut beberapa referensi, tanah lempung (clay) yang mengalami kompresi adalah tanah lempung dengan nilai N-SPT lebih kecil dari 15 tetapi pada BH-1 dan BH-2 tanah lempung dengan nilai N-SPT rata-rata 20, yaitu pada kedalaman 40 meter, penurunan masih cukup besar. Pada kedalaman di bawah 40 meter tanah BH-1 dan BH-2 dijumpai tanah keras (*very stiff soil*) yang masih bersifat tembus air (*permeable*) sehingga memungkinkan pada kondisi ini terjadi drainase dua arah, ke atas dan ke bawah (*double drainages*). Derajat konsolidasi ( $U_r$ ) yang digunakan disini adalah 90% sehingga setelah mencapai kondisi ini, sudah tidak ada penurunan konsolidasi.

Dengan memasukkan harga  $H = 20$  meter (*double drainage*),  $T_v = 0.848$  (untuk  $U_r = 90\%$ ) dan  $C_v$  rata-rata =  $0.1 \text{ cm}^2/\text{menit}$  pada rumus waktu penurunan maka dapat diketahui bahwa lamanya waktu penurunan tanah yang akan terjadi adalah 64,5 tahun pada kondisi derajat konsolidasi tanah mencapai  $U_r = 90\%$ .

Salah satu alternatif metoda perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah ini dalam hal ini mempersingkat waktu konsolidasi adalah dengan metoda 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 8 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 7 (Hardiyatmo, 2002. Teknik Pondasi I).

Tabel 7 Input nilai modulus elastisitas dan poisson ratio tanah dasar dalam PLAXIS

Jenis Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson ratio
TANAH 1	1400	0.3
TANAH 2	1100	0.3
TANAH 3	1800	0.3
TANAH 4	2300	0.3
TANAH 5	9000	0.3
TANAH 6	8000	0.3
TIMBUNAN	1000	0.3

Tabel 8 Besar penurunan untuk setiap fase

Phase	Penurunan	
	Segera (cm)	Konsolidasi (cm)
INITIAL	0	0
STAGE 1	25.32	
STAGE 2		38.10
STAGE 3	37.10	
STAGE 4		41.10
STAGE 5	58.94	
STAGE 6		52.44
	121.36	131.64
<b>Total penurunan</b>	<b>253</b>	

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 *Stage 1* (Tabel 9) terjadi kenaikan air pori dari 0 ke 31,19 kN/m<sup>2</sup> dengan tegangan tanah efektifnya 283,42 kN/m<sup>2</sup>, kemudian setelah dikonsolidasi (*Stage 2*) terjadi penurunan *excess pore pressure* menjadi 0,173 kN/m<sup>2</sup> dengan kenaikan tegangan efektif sebesar 301, 25 kN/m<sup>2</sup>.

Tabel 9 Tekanan air pori dan tegangan tanah pada setiap fase

Phase	Tekanan air pori (kN/m <sup>2</sup> )		Tegangan (kN/m <sup>2</sup> )	
	Active PP	Excess PP	Total	Efektif
INITIAL	-522.06	0	-804.67	-282.61
STAGE 1	-543.71	-30.19	-826.71	-283.42
STAGE 2	-522.06	-0.173	-823.31	-301.25
STAGE 3	-531.26	-23.40	-832.81	-301.62
STAGE 4	-522.06	-0.053	-831.90	-309.84
STAGE 5	-530.45	-24.59	-840.77	-310.23
STAGE 6	-522.06	-0.157	-840.81	-318.75

### Perhitungan Vertikal Drain

Berdasarkan formula yang ada dengan pemasangan vertikal drain pola segitiga dan bujursangkar maka hubungan antara jarak pemasangan PV drain dengan waktu penurunan tanah dasar pada derajat konsolidasi 90% dan 95% adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Hubungan Jarak PVD dan Waktu Penurunan

Jarak Pemasangan PVD (cm)	Waktu Penurunan (hari) untuk Ur = 90%		Waktu Penurunan (hari) untuk Ur = 95%	
	Segitiga	Bujursangkar	Segitiga	Bujursangkar
80	17	20	22	26
90	23	27	30	35
100	30	35	38	46
110	37	44	48	58
120	46	55	60	71
130	56	66	72	86
140	66	79	86	103
150	78	93	102	121

## Hasil Perencanaan Perbaikan Tanah

Data hasil perencanaan perbaikan tanah pada *Disposal Area* Kali Semarang adalah sebagai berikut:

- ✓ Kedalaman pemasangan PV drain : 40 m
- ✓ Pola pemasangan PV drain : segitiga
- ✓ Jarak titik pemasangan PV drain : 1,0 m
- ✓ Tinggi timbunan tanah : 5 m
- ✓ Waktu tunggu konsolidasi : 4,2 minggu
- ✓ Jarak pemasangan PH drain : 0.8 m

## E. KESIMPULAN

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.

Pada perhitungan tinggi timbunan berdasarkan daya dukung tanah dasar didapatkan tinggi timbunan 2 meter yang kemudian setelah daya dukung bertambah karena dianggap telah terkonsolidasi ditambah timbunan setinggi 1,5 meter dan dengan cara yang sama terakhir ditambahkan 1,5 meter lagi, sehingga total timbunan 5 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 5 meter. Dalam pengambilan kedalaman tanah untuk analisis waktu penurunan tidak digunakan 50 meter tetapi hanya 40 meter karena pada kedalaman ini penurunan masih cukup besar dan dianggap pada kedalaman 50 meter sudah tidak ada penurunan. Menurut beberapa referensi, tanah lempung (*clay*) yang mengalami kompresi adalah tanah lempung dengan nilai N-SPT lebih kecil dari 15 tetapi pada BH-1 dan BH-2 tanah lempung dengan nilai N-SPT rata-rata 20, yaitu pada kedalaman sampai dengan 40 meter, penurunannya masih cukup besar. Pada kedalaman di bawah 40 meter tanah BH-1 dan BH-2 dijumpai tanah keras (*very stiff soil*) yang masih bersifat tembus air (*permeable*) sehingga memungkinkan pada kondisi ini terjadi drainase dua arah, ke atas dan ke bawah (*double drainages*). Lama waktu penurunan tanah yang akan terjadi adalah 64,5 tahun pada

kondisi derajat konsolidasi tanah mencapai  $U_r = 90\%$ , dan besar penurunan sebesar  $\pm 2.57-2.64$  m yang artinya mengalami penurunan 4 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 *Stage 1* terjadi kenaikan air pori dari 0 ke  $31,19 \text{ kN/m}^2$  dengan tegangan tanah efektifnya  $283,42 \text{ kN/m}^2$ , kemudian setelah dikonsolidasi (*Stage 2*) terjadi penurunan *excess pore pressure* menjadi  $0,173 \text{ kN/m}^2$  dengan kenaikan tegangan efektif sebesar  $301,25 \text{ kN/m}^2$ .

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. Dengan pemampatan tanah maksimum yang akan terjadi sebesar 2.60 meter dengan menggunakan *vertical drain* pola segitiga dengan jarak 1 meter dan derajat konsolidasi 90%, waktu penurunan tanah hanya terjadi selama 4,2 minggu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Binamarga, 2008, *Data Tanah Disposol 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.
- Vermeer, Brinkgreve, 1998. *Plaxis Manual*, Plaxis B.V. The Netherlands