

PERKUATAN TANAH DENGAN VERTICAL DRAIN (STUDI KASUS SAWAHLUNTO)

Dwina Archenita¹⁾, Monika Natalia²⁾, Desmon Hamid³⁾, Merley Misriani⁴⁾

¹ Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang
dwina_a@hotmail.com

² Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang
monikanatalia75@gmail.com

³ Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang
desmon_hamid@yahoo.co.uk

⁴ Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang
merlymisriani@yahoo.com

Abstract

Sawahlunto have area of 27.345 hectares or 273.45 km², which has a distance of 95 km from Padang. Sawahlunto include by hills, ramps and elevation 250-650 m above sea level. Now, Sawahlunto has problems, which has been land subsidence. Subsidence happens quite significant and can be fatal if there is construction on it, such as roads, houses and other. Land subsidence become a major issue for society. This research aims to determine the classification of land and calculating subsidence and finding solutions for soil reinforcement in Sawahlunto. Research on 2015 was carried out by bore hole on a 4 point and laboratory test. At bore hole 1, Land subsidence depth of 5.6 cm, bore hole 2 depth of 14.48 cm, bore hole 3 depth of 27.1 and bore hole 4 depth of 15.6 cm. Research on 2016 with bore hole 1, Land subsidence depth of 34,9 cm, bore hole 2 depth of 32,97 cm.

Sawahlunto have area of 27.345 hectares or 273.45 km², which has a distance of 95 km from Padang. Sawahlunto include by hills, ramps and elevation 250-650 m above sea level. Now, Sawahlunto has problems, which has been land subsidence. Subsidence happens quite significant and can be fatal if there is construction on it, such as roads, houses and other. Land subsidence become a major issue for society. This research aims to determine the classification of land and calculating subsidence and finding solutions for soil reinforcement in Sawahlunto. Research on 2015 was carried out by bore hole on a 4 point and laboratory test. At bore hole 1, Land subsidence depth of 5.6 cm, bore hole 2 depth of 14.48 cm, bore hole 3 depth of 27.1 and bore hole 4 depth of 15.6 cm. Research on 2016 with bore hole 1, Land subsidence depth of 34,9 cm, bore hole 2 depth of 32,97 cm.

Geological and geoelectric investigation known lithological study area has a resistivity f between 7.70 to 125.00 Ohm m, with details from 15.00 to 23.00 Ohm meters of overburden, 7.70 to 23.40 Ohm meter layer sandy clay stone mixed with bolder and 33.20 to 125.00 ohm meter sandstone layer of clay mixed with bolder. Geological formations is Ombilin Formation (Tmol).

Soil reinforcement is done with vertical drain. Land consolidation is needed to achieve the consolidation of 90% was 53.3 months. With vertical drain, consolidation can be accelerated to 2.67 months.

Keywords: *land subsidence, bore hole, vertivcal drain*

1. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Land Subsidence (penurunan) Penurunan yang terjadi di Kota Sawahlunto sudah cukup signifikan dan dapat berakibat fatal jika terdapat konstruksi di atasnya. Cukup banyak titik-titik penurunan tanah yang terjadi di daerah ini, hal ini sudah menjadi *issue* utama bagi masyarakatnya.

Dari Penelitian tahap I (2015) dengan cara pengujian lapangan dengan bor mesin (bore hole) sebanyak 4 titik lokasi kritis. Penurunan yang terjadi pada titik BH-01 adalah 5.6 cm, BH-02 14.48 cm, BH-03 27.1 cm BH-04 15.6 cm.

Penelitian tahap II (2016) dilakukan lagi pengambilan sampel tanah sebanyak 2 titik bore hole pada lokasi yang terban.

Faktor yang sangat penting terhadap proses penurunan konsolidasi adalah muka air tanah, permeabilitas tanah, drain pada tanah dan beban yang diterima tanah. Kekuatan geser tanah akan meningkat sejalan dengan proses konsolidasi yang sedang berlangsung. Untuk mempercepat konsolidasi dapat dilakukan dengan drainase vertikal.

Nantinya, hasil dari pengujian ini akan dijadikan pedoman dan bahan pertimbangan dalam upaya mencari solusi/metode penanggulangannya dalam artian akan sangat bermanfaat bagi warga kota Sawahlunto dan sekitarnya.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dari tinjauan langsung ke lapangan, penurunan tanah yang terjadi disini sudah cukup signifikan. Hal ini sudah mulai berakibat ketidaknyaman warga kota.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai :

- a. Besarnya penurunan tanah yang terjadi.
- b. Mencarikan solusi untuk mengatasi terjadinya penurunan ini (upaya perkuatan tanah) dengan vertical drain.
- c. Besarnya akecepatan penurunan konsolidasi dengan pemasangan vertical drain dan tanpa pemasangan vertical drain.

1.4. MANFAAT PENELITIAN

- a. Untuk mengetahui jenis tanah dan klasifikasi tanah pada lokasi terjadinya penurunan.
- b. Untuk mengetahui besarnya penurunan tanah yang terjadi pada setiap lapisan tanah.
- c. Sebagai pedoman bagi masyarakat dan pemerintahan daerah dalam upaya menanggulangi *Land Subsidence* dan perkuatan tanah.

1.5. BATASAN MASALAH

- a. Besar penurunan dibatasi pada penurunan akibat konsolidasi primer.
- b. Analisa waktu konsolidasi dan percepatan konsolidasi dengan menggunakan vertical drain.
- c. Analisa dengan vertical drain menggunakan asumsi-asumsi yang diperkenalkan oleh Hansbo.

2. KAJIAN LITERATUR

2.1. PENURUNAN TANAH

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan suatu proses gerakan penurunan muka tanah yang didasarkan atas suatu datum tertentu (kerangka referensi geodesi) dimana terdapat berbagai macam variabel penyebabnya (Marfai, 2006). Penurunan muka tanah ini di akibatkan oleh banyak hal seperti pembebanan di atas

permukaan, hilangnya air tanah akibat eksploitasi berlebihan, gempa yang mengakibatkan rusaknya struktur tanah, ketidakstabilan bidang tanah akibat proses tertentu, dan sebagainya. Penurunan muka tanah ini secara tidak langsung pemaksaan memadatkan struktur tanah yang belum padat menjadi padat. Umumnya terjadi pada daerah yang tadinya berupa rawa, delta, endapan banjir dan sebagainya yang di alihkan fungsi tataguna lahannya tanpa melakukan rekayasa tanah terlebih dahulu.

(<http://syawal88.wordpress.com/2013/04/14/subsidence-turunnya-muka-tanah/>).

Memang penurunan terkadang tidak ekstrem setiap tahunnya di beberapa wilayah tetapi bukan tak mungkin bila di biarkan terus menerus akan berdampak munculnya kerugian tidak hanya material tetapi juga korban jiwa.

2.2. PENYEBAB TERJADINYA LAND SUBSIDENCE

Menurut Whittaker and Reddish, 1989 dalam Metasari 2010, secara umum faktor penyebabnya antara lain ;

1. Penurunan tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh :

a. Siklus Geologi

Proses – proses yang terlihat dalam siklus geologi adalah : pelapukan (*denuation*), pengendapan (*deposition*), dan pergerakan kerak bumi (*crustal movement*). Adapun keterkaitannya yaitu pelapukan bisa disebabkan oleh air seperti pelapukan batuan karena erosi baik secara mekanis maupun kimia, oleh perubahan *temperature* yang mengakibatkan turunnya permukaan batuan, oleh angin terutama di daerah yang kering dan gersang.

b. Sedimentasi Daerah Cekungan

Biasanya daerah Cekungan terdapat di daerah – daerah tektonik lempeng terutama di dekat perbatasan lempeng. Sedimen yang terkumpul di Cekungan semakin lama semakin banyak dan menimbulkan beban yang bekerja semakin meningkat, kemudian proses kompaksi sedimen tersebut menyebabkan terjadinya penurunan pada permukaan tanah. Sebagian besar penurunan muka tanah akibat faktor ini adalah :

- Adanya gaya berat dari beban yang ditimbulkan oleh endapan dan juga ditambah dengan air menyebabkan kelenturan pada lapisan kerak bumi.
- Aktivitas internal yang menyebabkan naiknya temperature kerak bumi dan kemudian mengembang menyebabkan kenaikan pada permukaan pada permukaan tanah. Setelah itu proses erosi dan pendinginan kembali menyebabkan penurunan muka tanah.
- Karakteristik deformasi dari lapisan tanah yang berkaitan dengan tekanan – tekanan yang ada

2. Penurunan tanah akibat pengambilan air tanah (*groundwater extraction*)

Pengambilan airtanah secara besar – besaran yang melebihi kemampuan pengambilannya akan mengakibatkan berkurangnya jumlah air tanah pada suatu lapisan akuifer. Hilangnya air tanah ini menyebabkan terjadinya kekosongan pori – pori tanah sehingga tekanan hidrostatik di bawah permukaan tanah berkurang sebesar hilangnya airtanah

tersebut. Selanjutnya akan terjadi pemampatan lapisan akuifer.

3. Penurunan akibat beban bangunan (*settlement*)

Penambahan bangunan di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan di bawahnya mengalami pemampatan.

Pemampatan tersebut disebabkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab lainnya yang sangat terkait dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

Proses pemampatan ini pada akhirnya menyebabkan terjadinya penurunan permukaan tanah. Secara umum penurunan tanah akibat pembebanan dapat dibagi ke dalam dua jenis, yaitu :

- d. Penurunan konsolidasi yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori – pori air tanah.
- e. Penurunan segera yang merupakan akibat dari deformasi elastik tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

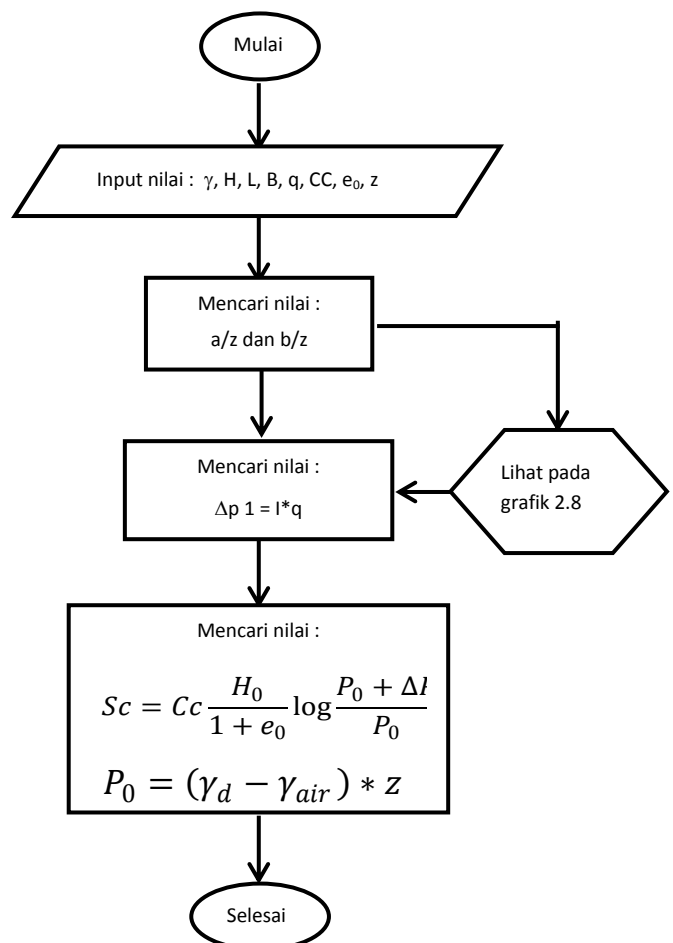
2.3. PENANGGULANGAN LAND SUBSIDENCE

Untuk melakukan penanggulangan turunnya muka tanah biasanya dilakukan beberapa tahap penelitian terhadap struktur tanah seperti daya dukung tanah, tebal dan komposisi struktur bawah permukaan, kondisi geologi, dan berbagai hal yang terkait. Cara penanggulangan pun bermacam macam berdasarkan hasil kajian dari faktor yang mempengaruhi *subsidence* tersebut salah satu penanggulangannya adalah memperkuat daya dukung tanah dengan cara melakukan rekayasa geoteknik seperti suntik semen, melakukan pembangunan

pondasi pada struktur tanah yang tepat, melakukan pergantian tanah lunak dengan tanah yang relatif lebih kompak, membuat drainase vertical, memanfaatkan penggunaan air tanah seperlunya tanpa melakukan eksploitasi berlebihan.

2.4. METODA PENYELIDIKAN TANAH

- i. Pengujian Lapangan, peralatan yang digunakan yaitu alat uji Bor dalam (*Boring*) dan SPT (*Standar Penetration Test*).
- 2. Pengujian Laboratorium, meliputi :
 - a. Pengujian Indeks Tanah (γ , ω , e , GS dll.) :
 - b. Kuat Geser Tanah (c , ϕ)
 - c. Kompresibilitas (C_c , C_v), dilakukan dengan tes Konsolidasi
- 3. Hitung penurunan konsolidasi.



Gambar 2.1. Diagram Alir Perhitungan Penurunan Konsolidasi

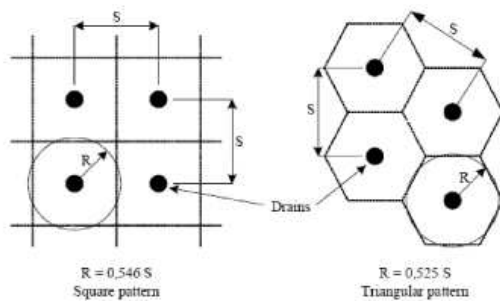
$$S_c = C_c \frac{H_0}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

Dimana :

- Sc = Penurunan Konsolidasi
- Cc = Koefisien Konsolidasi
- H₀ = Tebal masing-masing lapisan tanah lempung
- e₀ = Angka Pori
- P₀ = Tekanan Vertikal Overburden
- ΔP = Tambahan Tegangan akibat Beban

2.5. DRAINASE VERTIKAL

Konsolidasi primer biasanya memakan waktu yang lama bahkan bisa bertahun-tahun untuk tanah lempung yang memiliki permeabilitas kecil. Oleh karena itu diperlukan solusi yang tepat untuk dapat mempercepat keluarnya air pori dalam tanah dengan mempergunakan drainase vertical (vertical drain).



Gambar 2.2. Pola drainase vertical

Teori konsolidasi untuk vertical drain (Barron, 1948) dengan asumsi :

1. Lempung bersifat jenuh dan homogen.
2. Semua regangan kompresif dalam masa tanah terjadi dalam arah vertical.
3. Tidak ada aliran air pori.

4. Berlaku hukum Darcy untuk permeabilitas. Koefisien permeabilitas tidak tergantung pada lokasi.
5. Air pori dan butiran mineral bersifat inkompresif.

Pada drainase vertical diasumsikan sifat-sifat tanah disekelilingnya tidak berubah. Namun Hansbo, 1981 menganalisa gangguan pada tanah dengan cara mengasumsikan annulus pada tanah lempung yang mengalami efek smear disekitar drainase. Efek Smear dirumuskan dengan :

$$F_{(s)} = [(k_h/k_v) - 1] \ln (s)$$

Dimana :

- kh/kv = diasumsikan bernilai 2
- kh = koefisien permeabilitas horizontal (mm/detik)
- kv = koefisien permeabilitas vertical (mm/detik)
- s = rasio zona smear = ds/dw
- ds = diameter zona smera
- dw = diameter ekivalen vertical drain.

Langkah-langkah mendesain vertical drain :

1. Menentukan nilai koefisien konsolidasi horizontal, Ch dimana Ch = (1,2-3)Cv
2. Menentukan nilai derajat konsolidasi, Uv
3. Menentukan faktor waktu radial, Tr
4. Menentukan nilai derajat konsolidasi radial, Ur
5. Menentukan nilai derajat konsolidasi total, U
6. Menentukan total konsolidasi (Sc) pada waktu ke-n.

Carillo (1942), persamaan untuk mendapatkan derajat konsolidasi rata-rata

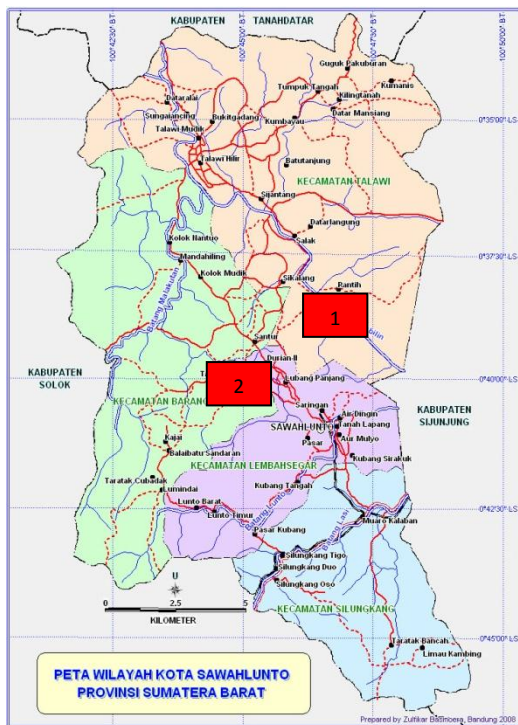
untuk aliran air vertical dan aliran air radial U :

$$(1 - U) = (1 - U_v) \times (1 - U_r)$$

$$U = 1 - [(1 - U_v) (1 - U_r)]$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. PENYELIDIKAN TANAH



Lokasi penyelidikan lapangan yaitu)
 Lokasi 1, Talago Gunung Kecamatan Barangin dan Lokasi 2, Durian II Kecamatan Lembah Segar

3.2. DATA LABORATORIUM

- Pengujian Indeks Tanah (γ , ω , e , G_S dll.) :
- Kuat Geser Tanah (c , ϕ)
 ☐ *Unconfined Compression Test*
- Kompresibilitas (C_c , C_v), dilakukan dengan tes Konsolidasi.

3.3. ANALISIS DATA

Dari data lapangan dan data laboratorium didapatkan :

- Jenis dan klasifikasi tanah di Kota Sawahlunto.
- Data geologi dan pergerakan tanah
- Penurunan konsolidasi (S_c)
- Besarnya penurunan dengan vertical drain dan tanpa vertical drain.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

BORE HOLE 1

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	
0 - 1	(Top Soil), Aspal/Grevel	
1 - 2	Lempung	N = 30 $\gamma = 20$ qu = 9
2 - 3,5	Lempung Lanau	N = 34 $\gamma = 20$ qu = 36
3,5 - 4,5	Lempung Lanau	N = 30 $\gamma = 20$ qu = 36
4,5 - 9,5	Lempung Berpasir	N = 32 $\gamma = 17$ qu = 38

- ❖ $C_c = 0,306$
 - ❖ Lapisan 1, $S_c = 4,5$ cm
 Lapisan 2, $S_c = 4,8$ cm
 Lapisan 3, $S_c = 7,4$ cm
 Lapisan 4, $S_c = 18,3$ cm
- Total penurunan yang terjadi pada lapisan lempung sebesar 34,9 cm.

BORE HOLE 2

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	
0 - 1	(Top Soil), Aspal/Grevel	

1 - 2	Lempung	N = 4 r = 15 qu = 0,45
2 - 3,5	Lempung	N = 6 r = 16 qu = 0,8
3,5 - 4,5	Lempung Berpasir	N = 8 r = 10 qu = 1,02
4,5 - 9,5	Lempung Berpasir	N = 22 r = 17 qu = 3,04

- ❖ Cc = 0,311
- ❖ Lapisan 1, Sc = 3,12 cm
- ❖ Lapisan 2, Sc = 5,30 cm
- ❖ Lapisan 3, Sc = 8,12 cm
- ❖ Lapisan 4, Sc = 16,43 cm

Total penurunan yang terjadi pada lapisan lempung sebesar 32,97 cm.

Perhitungan waktu konsolidasi :

Data yang diperlukan sebagai input adalah tebal lapisan tanah yang terkonsolidasi dan sifat lapisan disekitar lapisan yang ditinjau serta koefisien kecepatan konsolidasi.

Perhitungan analisa waktu 90% konsolidasi pada titik BH-01 :

- Tebal lapisan terkonsolidasi = 10 m.
- Panjang aliran drainase, Hdr = 0,5 x tebal lapisan terkonsolidasi = 5 m.
- Koefisien kecepatan konsolidasi, Cv = 0,027 mm²/dt
- Faktor waktu untuk konsolidasi 90%, T90 = 25 menit

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

Maka t = 138.900.000 detik = 53,5 bulan

Perhitungan Drainase Vertikal :

1. Menentukan nilai koefisien horizontal.
Ch = (1,2 - 3) Cv
Diambil nilai Ch = 2 Cv = 2 x 0,027 mm²/dt = 0,054 mm²/dt = 2.083 m²/th.
2. Menentukan nilai derajat konsolidasi arah vertical :

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}}{\left[1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right]^{0,179}}$$

Dimana :

$$T_v = \frac{C_v T}{H_d^2}$$

Didapat Uv = 0,061

3. Menentukan faktor waktu radial, Tr.
s = spasi antar PVD = 1,2 m
de = diameter hidrolis = 1,05 x s (pola segitiga) = 1,26 m
lebar PVD (a) = 10 cm
tabal PVD (b) = 0,5 cm
maka :
π.dw = 2 (a + b)
π.dw = 2 (10 + 0,5)
dw = 6,68 cm = 0,067 m
Pada t = 10 hari = 0,027 tahun

$$Tr = \frac{C_h \times t}{d_e^2}$$

Didapat Tr = (2.083 x 0,027)/(1,26)²
Tr = 0,035

4. Menentukan derajat konsolidasi, Ur.

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8T_r}{F}\right)$$

Dimana, $F = F_{(n)} + F_{(s)}$

$$F_{(n)} = \left[\frac{n^2}{(n^2 - 1)} \right] \ln(n) - \frac{(3n^2 - 1)}{(4n^2)}$$

$$F_{(s)} = \left[\left(\frac{k_h}{k_s} \right) - 1 \right] \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right)$$

$$n = de/dw = 1,26/0,067 = 18,81$$

$$F_{(n)} = 2,19$$

$$kh/ks = 35/20 = 1,75$$

$$ds/dw = 20/6,68 = 3$$

$$F_{(s)} = (1,75 - 1) \ln(3) = 0,82$$

Maka Nilai $F = 2,19 + 0,82 = 3,01$

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8T_r}{F}\right)$$

$$U_r = 0,22$$

5. Menentukan nilai derajat konsolidasi total, U

$$(1 - U) = (1 - U_v) \times (1 - U_r)$$

$$U = 1 - [(1 - U_v) (1 - U_r)]$$

$$U = 1 - [(1 - 0,061) (1 - 0,22)]$$

$$U = 1 - (0,939)(0,780)$$

$$U = 0,268$$

6. Menghitung besar penurunan konsolidasi (S_c) pada waktu ke-n :

$$S_c = U \times S_{ult}$$

$$S_c = 0,268 \times 0,349$$

$$S_c = 0,094 \text{ meter}$$

Untuk hasil perhitungan selengkapnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.1. Hasil perhitungan konsolidasi vertical dan radial dengan spasi 1,2 meter

t (tahun)	t (hari)	Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U (%)	Sc (m)
0	0	0	1	0	0	1	0	0
0,014	5	0,045	0,955	0,019	0,131	0,869	0,167	-0,066
0,027	10	0,061	0,939	0,035	0,220	0,780	0,268	-0,094
0,041	15	0,073	0,927	0,054	0,344	0,656	0,396	-0,103
0,055	20	0,089	0,911	0,087	0,450	0,550	0,477	-0,135
0,068	25	0,094	0,906	0,129	0,492	0,508	0,506	-0,160
0,082	30	0,102	0,898	0,146	0,555	0,445	0,584	-0,188
0,096	35	0,111	0,889	0,175	0,573	0,427	0,617	-0,201
0,110	40	0,123	0,877	0,198	0,616	0,384	0,658	-0,236
0,123	45	0,130	0,870	0,210	0,670	0,330	0,699	-0,267
0,137	50	0,139	0,861	0,299	0,715	0,285	0,726	-0,299
0,151	55	0,148	0,852	0,358	0,756	0,244	0,760	-0,346
0,164	60	0,154	0,946	0,417	0,778	0,222	0,788	-0,388
0,178	65	0,160	0,840	0,516	0,812	0,188	0,832	-0,462
0,192	70	0,167	0,833	0,644	0,848	0,152	0,859	-0,503
0,205	75	0,172	0,828	0,709	0,889	0,111	0,890	-0,555
0,219	80	0,179	0,821	0,894	0,901	0,099	0,907	-0,598
0,233	85	0,183	0,817	0,912	0,917	0,083	0,925	-0,644
0,247	90	0,188	0,812	1,046	0,930	0,070	0,939	-0,690

Dari hasil perhitungan waktu konsolidasi tanpa menggunakan vertical drain pada

titik BH-01 diketahui bahwa untuk mencapai konsolidasi 90% dibutuhkan

waktu selama 7,65 bulan. Dengan menggunakan vertical drain, waktu untuk mencapai konsolidasi 90% dapat ditekan secara signifikan menjadi 80 hari atau sekitar 2,67 bulan.

5. KESIMPULAN

Hasil penyelidikan klasifikasi tanah dan penurunan yang terjadi sebagai berikut ;

1. Lokasi penelitian berada pada wilayah dengan pergerakan tanah kuat (lokasi 1) dan pergerakan tanah sedang (lokasi 2).
2. Dari hasil perhitungan diperoleh penurunan yang terjadi pada BH-01 sebesar 34,9 cm dan pada BH-02 sebesar 32,97 cm
3. Waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% adalah selama 7,65 bulan.
4. Dengan menggunakan vertical drain, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% adalah 2,67 bulan.

6. REFERENSI

1. Hendarsin Shirley L 2003, Investigasi Rekayasa Geoteknik. Politeknik Negeri Bandung Jurusan Teknik Sipil, Bandung.
2. Hidayati, A, M, 2008, Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drain untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung.
3. <http://jendelakita.net/index.php/sumbar/sawahlunto/249-resapan-air-terganggu-picu-potensi-longsor-sawahlunto>
4. <http://syawal88.wordpress.com/2013/04/14/subsidence-turunnya-muka-tanah/>
5. <http://syawal88.wordpress.com/2009/03/20/subsidence-salah-siapa/>
6. Iqbal, M, 2014, Tinjauan Geoteknik Kerusakan Jalan Sub Grade Tanah Lunak terhadap Penurunan Ruas Jalan Air Bara – Toboali.
7. Juniarso, 2011, Analisa Waktu Penurunan Tanah dengan Kombinasi Metode Preloading dan PVD landasan Pacu Bandar Udara Juwata Tarakan.
8. Marsudi, 2001, *Prediksi Laju Amblesan Tanah di dataran Aluvial Semarang*, Propinsi Jawa Tengah. Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
9. Pasaribu TH dkk, 2013, Analisa Penurunan pada Tanah Lunak akibat Timbunan Runway Bandara Medan Baru, USU, Medan.
10. Sandhyavitri, A, dkk, 2008, Analisa Perbaikan Sub Grade Lapangan Terbang dengan Metode Vertical Drain (Studi Kasus : Bandara Tempuling, Tembilahan, Riau).
11. Sobarna,R, 2006, *Masalah Tanah Longsor Dan Penanggulangannya Pada Kawasan Tambang Batubara Airlaya Dan Sekitarnya, Pt. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan*, Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Nomor 37, Tahun14, Mei 2006 : 1 – 9