

ANALISA PERBAIKAN TANAH DENGAN METODE PREFABRICATED VERTICAL DRAIN PADA RUNWAY STRIP DI BANDAR UDARA JUWATA TARAKAN

Sinta Amilaila Arvindu

Jurusan Teknik Bangunan dan Landasan, Fakultas Teknik Penerbangan, Politeknik Penerbangan Surabaya
Jl. Jemur Andayani I/73, Surabaya 60236
Email: mail@poltekbangsby.ac.id

Abstrak

Bandar udara merupakan transportasi udara yang harus memberikan pelayanan yang prima demi keselamatan dan keamanan penerbangan. Oleh karena itu, pada bandara memiliki kondisi tanah pada runway strip yang buruk sehingga dilakukan analisa perbaikan tanah menggunakan metode Prefabricated Vertical Drain (PVD). Analisa perbaikan runway strip dilaksanakan dengan metode kombinasi Preloading dan PVD. Kombinasi ini dilakukan dengan memberikan beban awal berupa timbuna (preloading) pada tanah yang selanjutnya diberi sistem drainase vertikal berupa PVD. PVD tersebut akan menggunakan dengan konfigurasi segitiga dan spasi yang berbeda. Spasi yang berbeda dilakukan untuk mengetahui percepatan proses konsolidasi dan berapa lama terjadinya konsolidasi. Berdasarkan hasil analisa dengan metode kombinasi ini didapat bahwa penurunan tanah yang dialami sebesar 3,91 meter. Dengan tebal timbunan yang dibutuhkan 8,69 meter untuk mencapai elevasi target. Maka untuk perencanaan PVD, dengan konfigurasi segitiga dengan jarak antar PVD yang dibutuhkan yaitu sebesar 1,4 meter dengan jari-jari PVD 0,74 meter dan kedalaman 17 meter. Pada perencanaan ini ditargetkan tanah dapat terkonsolidasi dengan PVD selama 60 hari. Perencanaan PVD tersebut membutuhkan anggaran biaya sebesar Rp.15.137.203.180. Biaya tersebut meliputi pekerjaan PVD, pekerjaan PHD (Prefabricated Horizontal Drain), pengendalian mutu dan penimbunan dengan tanah urug.

Kata kunci : Preloading, Prefabricated Vertical Drain, konfigurasi, konsolidasi

Abstract

Airports are air transportation that must provide excellent service for flight safety and security. Therefore, the airport has poor soil conditions on the runway strip, so a soil improvement analysis is carried out using the Prefabricated Vertical Drain (PVD) method. Analysis of runway strip repair is carried out using a combination of Preloading and PVD methods. This combination is done by providing an initial load in the form of preloading on the soil which is then given a vertical drainage system in the form of PVD. These PVDs will use different triangular configurations and spaces. Different spacing is used to determine the acceleration of the consolidation process and how long it takes for consolidation to occur. Based on the results of the analysis using this combination method, it was found that the land subsidence experienced was 3.91 meters. With the thickness of the embankment it takes 8.69 meters to reach the target elevation. So for PVD planning, with a triangular configuration with a required distance between PVDs of 1.4 meters with a PVD radius of 0.74 meters and a depth of 17 meters. In this planning, it is targeted that the land can be consolidated with PVD for 60 days. The PVD planning requires a budget of Rp. 15,137,203,180. These costs include PVD work, PHD (Prefabricated Horizontal Drain) work, quality control and backfilling with backfill.

Keywords : Preloading, Prefabricated Vertical Drain, configuration, consolidation

PENDAHULUAN

Bandar Udara Juwata terletak di Jalan Mulawarman Nomor 1, Kota Tarakan, Kalimantan Utara. Jarak dari pusat kota berkisar 3 km. Letak geografis Bandar Udara Juwata Tarakan berada di posisi 03° 19' 36" N dan 117° 34' 10" E. Terletak berada pada ketinggian 12,19 diatas permukaan rata-rata laut (mean sea level). Bandar Udara Juwata Tarakan sebagai penghubung antar daerah yang terpencil di Tarakan, seperti Long Apung, Long Bawan, Long Sule dan lain sebagainya. Untuk itu, transportasi udara udara di Tarakan harus dikembangkan secara maksimal.

Bandar Udara Juwata memiliki dua fasilitas utama yaitu fasilitas sisi darat dan sisi udara. Dalam meningkatkan kualitas fasilitas tersebut tentu membutuhkan perawatan dan pemeliharaan yang ekstra. Untuk itu, dalam meningkatkan kualitas fasilitas bandar udara, maka akan dilakukan perbaikan tanah pada runway strip. Runway strip Bandar Udara Juwata memiliki jenis tanah yang lunak (clay). Tanah dengan tipe ini akan mudah mengalami penurunan. Sehingga akan mengganggu keselamatan dan keamanan penerbangan pada bandar udara. Untuk itu dilakukan perbaikan kondisi tanah dalam jangka panjang dengan metode kombinasi dengan preloading dan PVD.

Data yang telah diperoleh berupa uji bor, pada area runway strip dilakukan pengeboran hingga kedalaman 20 meter dari permukaan. Sedangkan untuk elevasi eksisting pada runway strip tersebut setinggi 1,13 meter. Sehingga harus dilakukan penimbunan setinggi 80 cm, untuk mencapai elevasi 1,99 meter.

Penimbunan diatas tanah lunak akan mengalami penurunan dengan lambat,

sehingga dilakukan pengkombinasian antara preloading dan prefabricated vertical drain (PVD). Kombinasi tersebut dilakukan untuk mempercepat proses penurunan pada tanah. Dalam kombinasi tersebut dilakukan perbandingan PVD pola segitiga dan persegi. Pola tersebut akan dibandingkan dengan percepatan waktu konsolidasi dan jarak antar saluran PVD. Perbaikan tersebut dilakukan untuk memenuhi standar keselamatan dan keamanan berdasarkan persyaratan/ketentuan teknis yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

Berdasarkan uraian permasalahan yang telah dijelaskan dalam latar belakang, maka dilakukan perbaikan tanah pada runway strip. Runway strip Bandara Juwata Tarakan memiliki elevasi yang lebih tinggi dari runway sehingga dilakukan penurunan tanah pada runway strip. Penurunan tanah tersebut dilakukan dengan penimbunan, sehingga dilakukan perhitungan ketebalan timbunan agar elevasi runway strip dapat tercapai target elevasi. Proses penurunan tanah akan terjadi dalam jangka waktu yang sangat lama, sehingga untuk mempercepat proses penurunan tanah dilakukan metode kombinasi antara *preloading* dan PVD. Metode kombinasi tersebut membutuhkan biaya yang cukup besar, sehingga dilakukan pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB) agar dapat memperkirakan biaya yang diperlukan untuk konstruksi tersebut.

Tujuan Penelitian

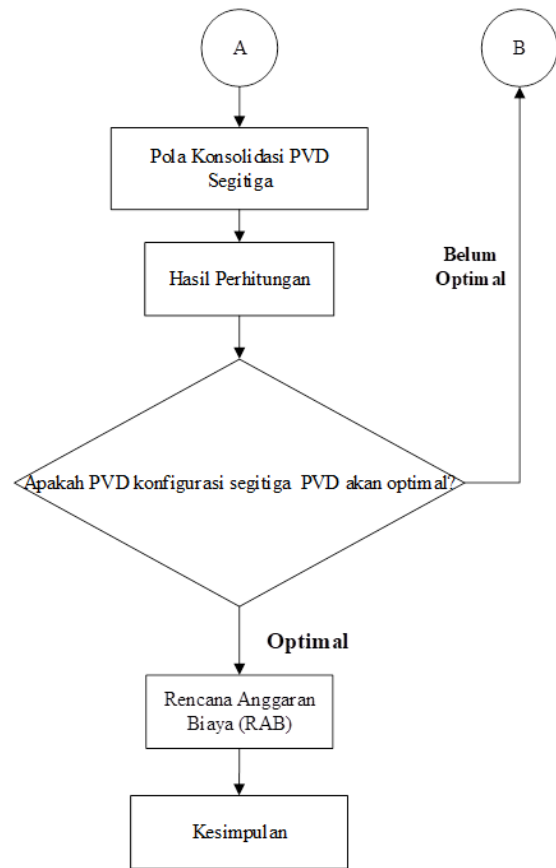
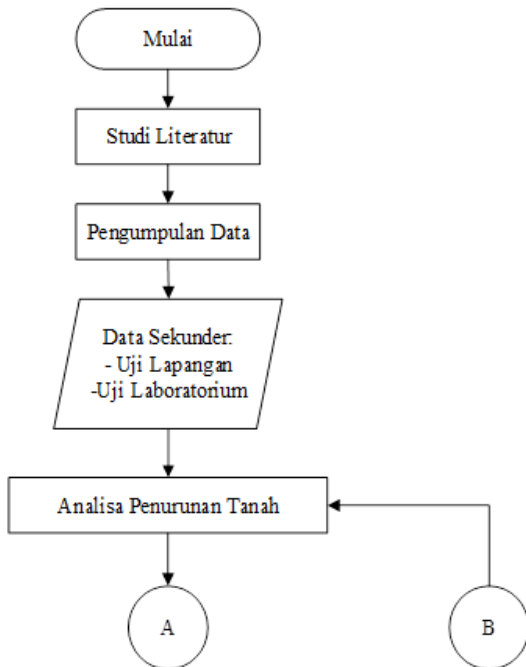
Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui besar penurunan tanah, tebal timbunan dan lama proses penurunan tanah dengan metode kombinasi *preloading* dan PVD agar dapat mencapai target elevasi. Selain itu, tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam konstruksi perbaikan tanah dengan metode *preloading* dan PVD.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian untuk menambah pengetahuan akan perencanaan perbaikan tanah menggunakan metode kombinasi *preloading* dan PVD di Bandar Udara Internasional Juwata Tarakan.

METODE

Bagan Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

Tahap Persiapan

Dilakukan pengamatan pada area perbaikan tanah. Selanjutnya mengumpulkan data-data mengenai area tersebut pada bandara.

Studi Literatur

Studi literatur ialah pengumpulan, mengolah data dan data sebagai sumber dalam penelitian ini. Sumber tersebut dari dokumen, majalah, artikel, buku, jurnal dan lain sebagainya. Sumber tersebut digunakan untuk memperkuat teori dalam penelitian tersebut. Penelitian ini menggunakan metode kombinasi *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Data lapangan yang digunakan yaitu uji tanah yang ada dalam Laporan Pra Akhir Bandar Udara Juwata Tarakan tahun 2019.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan yaitu data sekunder. Data sekunder terdiri dari uji lapangan dan uji laboratorium. Data uji lapangan yaitu data

CBR, hasil uji sondir, hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan hasil uji Test Pit. Sedangkan untuk data hasil uji laboratorium adalah hasil laboratorium sampel tanah *undisturbed*.

Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari Bandar Udara Juwata yang telah melakukan uji lapangan dan uji laboratorium.

Analisa Penurunan Tanah

Metode yang digunakan untuk perbaikan tanah yaitu metode kombinasi, *preloading* (penimbunan) dan metode PVD. Melakukan bandingan konfigurasi segitiga dan segiempat. Perbandingan tersebut akan terlihat dari besarnya penurunan tanah dan juga waktu yang dibutuhkan saat konsolidasi.

Pola Konsolidasi PVD

Pola konsolidasi PVD digunakan untuk merencanakan pemasangan PVD dan jarak antar PVD. Hal tersebut agar mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90%.

Tahapan yang perlu dilakukan untuk perencanaan pola konsolidasi PVD yaitu, menentukan spesifikasi PVD dan jarak pemasangan PVD. Pada perencanaan ini ditentukan menggunakan konfigurasi segitiga. Dengan konfigurasi tersebut akan mencari jarak spesi PVD yang membutuhkan waktu tersingkat untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90%.

Hasil Perhitungan

Hasil dari perhitungan akan dibandingkan dengan dua pola konsolidasi PVD. Pola konsolidasi PVD yang akan dibandingkan yaitu pola segitiga dan segiempat. Jadi dari pola tersebut bila dilaksanakan dengan jarak yang dekat maka untuk mencapai konsolidasi yang diinginkan akan semakin cepat.

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Pekerjaan ini akan dihitung anggaran biaya mengenai material maupun finansial seperti, jumlah pekerja, jumlah material yang dibutuhkan serta alat dan bahan yang dibutuhkan untuk perbaikan tanah dengan metode PVD.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan tersebut akan disimpulkan dari perbandingan pola konsolidasi segitiga dan segiempat. Dari perbandingan tersebut akan di jelaskan penyebab terjadi secara cepat dan terjadi secara lambat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi Tanah

Lapisan tanah ditentukan dari hasil data lapangan yaitu hasil pengujian *deep boring*.

Tabel 4.1 Hasil Uji *Deep Boring*

No	Nama Bor	Kedalam Pengeboran (m)									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1	DB 01	4	3	8	5	3	4	8	11	22	23
2	DB 02	2	4	16	19	23	32	44	23	30	34
3	DB 03	6	5	5	4	3	5	15	17	19	20
4	DB 04	3	4	3	2	5	8	37	43	46	49
5	DB 05	3	2	4	3	16	18	22	12	20	21
6	DB 06	19	23	27	26	27	22	27	24	29	34

Sumber: Laporan Pra Akhir Bandar Udara Juwata Tarakan, 2019

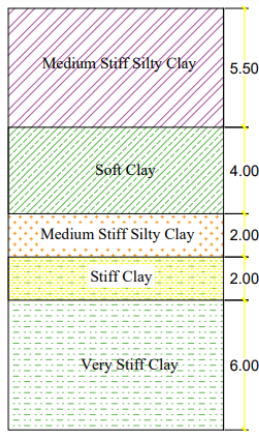
Nilai N-SPT dikorelasi dengan mengklasifikasikan tanah dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hubungan N-SPT terhadap konsistensi tanah lempung

N-STP (blows/ft)	Konsistensi	qc (Unconfined Compressive Strength) (kN/ft ²)	Ysat (kN/m ³)
0-2	Very Soft	0-25	<16
2-4	Soft	25-50	16-19
4-8	Medium	50-100	17-20
8-15	Stiff	100-200	18-20
15-30	Very Stiff	200-400	19-22
>30	Hard	>400	>22

Sumber : Terzaghi & Peck, 1967

Berikut merupakan hasil dari klasifikasi tanah dari analisa Tabel 4.2.



Gambar 4.1 Klasifikasi Lapisan Tanah

Korelasi Ujian Laboratorium

Nilai korelasi digunakan untuk memenuhi data yang tidak tertera pada data aslinya. Untuk itu nilai korelasi diambil dari penelitian para ahli terdahulu serta dari buku-buku yang telah ada.

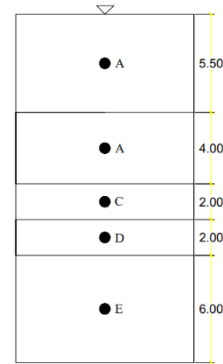
Maka, hasil dari korelasi tersebut disesuaikan dengan kondisi tanah yang ada di lapangan. Berikut merupakan hasil korelasi di Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Korelasi

Lapisan	Timbunan	Lay. 1 Medium stiff silty clay	Lay. 2 Soft Clay	Lay 3. Medium stiff silty clay	Stiff Clay	Very Stiff Clay
Depth (m)		0-6	6-10	10-12	12-14	14-20
Material Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Type	Drained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained
γ_{unsat} (kN/m ³)	18,00	15,00	14,00	15,00	15,00	17,00
γ_{sat} (kN/m ³)	20	17,3	16	17	18	19
k_x (m/day)	1,7E+01	1,7E-04	1,7E-03	1,7E-04	1,7E-03	1,7E-04
k_y (m/day)	8,6E+00	8,6E-05	8,6E-04	8,6E-05	8,6E-04	8,6E-05
ν	0,35	0,3	0,2	0,3	0,3	0,33
E (kPa)	35000	5000	2200	5000	18000	22000
c'	1	1	1	1	1	1
ϕ'	37	25	23	25	27	29
C_c	-	0,84	0,9	0,84	-	-
e_0	-	0,76	1,17	0,76	-	-
C_v (cm ² /det)	-	-	2,60E-03	-	-	-

Analisa Settlement Tanah

Perhitungan settlement ini memiliki muka air tanah yang berada di permukaan tanah.



Gambar 4.2 Lapisan Tanah dan MAT

Setelah mengetahui muka air tanah dan mengetahui titik tengahnya. Selanjutnya dilakukan perhitungan, sebagai berikut.

a. Lapisan Tanah A

$$\begin{aligned} \sigma_A &= H_1 \times Y_{sat} \\ &= 2,75 \times 17,3 \\ &= 47,575 \text{ kN/m}^2 \\ U_A &= H_2 \times Y_w \\ &= 2,75 \times 9,81 \\ &= 26,98 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Lapisan Tanah B

$$\begin{aligned} \sigma_B &= (H_A \times Y_{sat}) + (H_1 \times Y_{sat}) \\ &= (5,50 \times 17,30) + (2 \times 16) \\ &= 127,15 \text{ kN/m}^2 \\ U_B &= H_2 \times Y_w \\ &= 7,50 \times 9,81 \\ &= 73,58 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Lapisan Tanah C

$$\begin{aligned} \sigma_C &= (H_A \times Y_{sat}) + (H_B \times Y_{sat}) + (H_1 \times Y_{sat}) \\ &= (5,50 \times 17,30) + (4 \times 16) + (1 \times 17) \\ &= 176,15 \text{ kN/m}^2 \\ U_C &= H_2 \times Y_w \\ &= 10,50 \times 9,81 \\ &= 103,01 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

d. Lapisan Tanah D

$$\begin{aligned} \sigma_D &= (H_A \times Y_{sat}) + (H_B \times Y_{sat}) + (H_C \times Y_{sat}) + (H_1 \times Y_{sat}) \\ &= (5,50 \times 17,30) + (4 \times 16) + (2 \times 17) + (1 \times 18) \\ &= 211,15 \text{ kN/m}^2 \\ U_D &= H_2 \times Y_w \\ &= 12,50 \times 9,81 \end{aligned}$$

$$= 122,63 \text{ kN/m}^2$$

e. Lapisan Tanah E

$$\begin{aligned} \sigma_E &= (H_A \times Y_{\text{sat}}) + (H_B \times Y_{\text{sat}}) + \\ & (H_C \times Y_{\text{sat}}) + (H_1 \times Y_{\text{sat}}) + (H_1 \times Y_{\text{sat}}) \\ &= (5,50 \times 17,30) + (4 \times 16) + \\ & (2 \times 17) + (2 \times 18) + (3 \times 19) \\ &= 286,15 \text{ kN/m}^2 \\ U_E &= H_2 \times Y_w \\ &= 16,50 \times 9,81 \\ &= 161,87 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah selesai menghitung tegangan total dan tekanan air pori, maka selanjutnya menghitung tegangan efektif.

a. Lapisan Tanah A

$$\begin{aligned} \sigma_A &= \sigma_A - U_A = 47,58 - 26,98 \\ &= 20,60 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Lapisan Tanah B

$$\sigma_B = 127,15 - 73,58 = 53,58 \text{ kN/m}^2$$

c. Lapisan Tanah C

$$\sigma_C = 176,15 - 103,15 = 73,15 \text{ kN/m}^2$$

d. Lapisan Tanah D

$$\sigma_D = 211,15 - 122,63 = 88,53 \text{ kN/m}^2$$

e. Lapisan Tanah E

$$\sigma_E = 286,15 - 161,87 = 124,29 \text{ kN/m}^2$$

Selanjutnya menghitung $\Delta\sigma$, yang mana elevasi total merupakan penjumlahan dari tebal timbunan dan galian. Berikut merupakan perhitungannya.

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= \text{Beban Pesawat} + (Y_{\text{sat}} \text{ timbunan} \times \\ & \text{elevasi total}) \\ &= 60 \text{ kN/m}^2 + (18 \text{ kN/m}^3 \times 1,36 \text{ m}) = \\ & 84,48 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Analisa Konsolidasi Beban Operasional dan Surcharge

Tinggi timbunan yang akan di pikul oleh tanah dasar, akan diuraikan dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 4.4 Konversi Beban ke Tinggi Timbunan

	Nilai	γ	Hasil (m)
Pesawat	60	18	3,33
Elevasi			1,36
Total Timbunan yang dibutuhkan			4,69

Tabel 4.5 Perhitungan Konsolidasi Beban Operasional

No	Nama	Nilai	Satuan
1	El. Bottom Perkerasan Tanah	1,99	
2	El. Eksisting Permukaan Tanah	1,13	
3	Galian	0,50	
4	El. Striping	0,63	
5	Tinggi Timbunan di Bawah Perkerasan (H1)	1,36	m
6	Ekuivalen Beban Pesawat	3,33	m
7	Tinggi Timbunan Operasional	4,69	m

Tabel 4.6 Pengecekan Timbunan

Kedalaman (m)	5,50
Y_{sat} (kN/m ³)	18,00
σ' (kN/m ²)	20,60
$\Delta\sigma$ (kN/m ²)	84,48
C_c	0,84
e_0	0,76
S_e (m)	2,86
H_{Final} (m)	1,84

Setelah perhitungan operasional selesai, maka dilakukan perhitungan tahap 2. Karena walaupun elevasi target sudah tercapai, namun tanah akan mengalami konsolidasi terus menerus sebesar 2,86 meter. Maka untuk mencapai elevasi bottom perkerasan tanah tentu tidak dapat tercapai. Karena tinggi timbunan dibawah perkerasannya hanya 1,36 meter sedangkan penurunan yang terjadi hampir dua kali lipatnya.

Sehingga dilakukan tambahan beban preloading dengan perhitungan $4,69 \text{ m} + (1,4 \times 2,86 \text{ m}) = 8,69 \text{ meter}$. Dari perhitungan tersebut akan dimasukkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.7 Perhitungan Konsolidasi Beban Operasional dan Surcharge

No	Nama	Nilai	Satuan
1	El. Top Perkerasan		
2	Tebal Perkerasan		
3	El. Bottom Perkerasan Tanah	1,99	
4	El. Eksisting Permukaan Tanah	1,13	
5	Galian	0,50	
6	El. Striping	0,63	
7	Tinggi Timbunan di Bawah Perkerasan (H1)	1,36	m
8	Ekivalen Beban Pesawat	3,33	m
9	Tinggi Timbunan Operasional	4,69	m
10	Penurunan	2,86	m
11	Tinggi Surcharge	4,00	m
12	Tinggi Total Timbunan	8,69	m

Tabel 4.8 Pengecekan Timbunan

Kedalaman (m)	5,50
Ysat (kN/m ³)	18,00
σ' (kN/m ²)	20,60
Δσ (kN/m ²)	156,50
Cc	0,84
e0	0,76
Se Lap. 1(m)	2,45
Se Lap. 2 (m)	0,98
Se Lap. 3(m)	0,47
Se Total (m)	3,91
H final (m)	4,78

Dari hasil perhitungan tersebut maka penurunan yang terjadi sebesar 3,91 meter. Dengan total tinggi timbunan sebesar 8,69 meter.

Timbunan Bertahap

Tebal lapisan tanah I yaitu lapisan yang paling atas, karena yang akan menopang timbunan secara langsung lapisan tanah paling atas. Tahap perhitungan tersebut akan diuraikan sebagai berikut.

Tabel 4.9 Timbunan Bertahap Tahap I

Lapisan	Lapisan 1 Medium stiff silty clay
Tebal Lapisan Tanah Atas (m)	5,50
N-STP	5
Su (kN/m ²)	30
qu (kPa)	154,2
Hcr (m)	7,14
Tinggi Timbunan Tahap I (m)	7,00
Δσ' (kPa)	126,00
U	0,90
ΔSu (kN/m ²)	2,5E+01

1. Menghitung Su

$$Su = 6 \times 5 = 30 \text{ kN/m}^2$$

Rumus tersebut digunakan pada uji *boring*.

2. Menghitung qu/qu_{ult}

$$qu = 5,14 \times 30 \text{ kN/m}^2 = 154,2 \text{ kN/m}^2$$

3. Menghitung Hcr

$$Hcr = \frac{154,2 \text{ kN/m}^2}{(18 \text{ kN/m}^3 \times 1,2)} = 7,14 \text{ m} \approx 7 \text{ m}$$

4. Menghitung Δσ'

$$\Delta\sigma' = Y_{sat} \times Hcr = 18 \text{ kN/m}^3 \times 7 \text{ m} = 126 \text{ kN/m}^2$$

5. Menentukan nilai U

Nilai U (derajat konsolidasi) yang digunakan yaitu 90% atau 0,9.

6. Menghitung Δsu

$$\Delta Su = 0,22 \times 126 \text{ kN/m}^2 \times 0,9 = 25 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 4.10 Timbunan Bertahap Tahap II

Lapisan	Lapisan 1 Medium stiff silty clay
Su (kN/m ²)	5,5E+01
Tinggi Timbunan (m)	6,08
Hcr (m)	13,08
Δσ' (kPa)	235,36
Tinggi Timbunan Tahap II (m)	1,69

Uraian perhitungan dari tabel diatas yaitu sebagai berikut.

1. Su = Su Tahap I + ΔSu

$$= 30 \text{ kN/m}^2 + 25 \text{ kN/m}^2 = 55 \text{ kN/m}^2$$

2. Tinggi Timbunan = Hcr - Tinggi Timbunan Tahap I = 13,08 m – 7 m = 6,08 m

3. Hcr = $\frac{Su \times Nc}{Y_{sat} \text{ timbunan} \times FS} = \frac{55 \text{ kN/m}^2 \times 5,14}{18 \text{ kN/m}^3 \times 1,2} = 13,08 \text{ m}$

4. Δσ' = Ysat timbunan x Hcr = 18 kN/m³ x 13,08 m = 235,36 kN/m²

5. Tinggi Timbunan Tahap II = Tinggi Total Timbunan – Tinggi Timbunan Tahap I = 8,69 m – 7 m = 1,69 m

Perencanaan PVD Konfigurasi Segitiga

a. Menentukan jari-jari ekivalen PVD

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} = \frac{2(0,004+0,10)}{3,14} = 0,066 \text{ m}$$

$$r_w = \frac{0,066}{2} = 0,033 \text{ m}$$

b. Menentukan diameter *mandrel*

$$d_m = \sqrt{\frac{4 \times A_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times (0,004 \times 0,10)}{3,14}} = 0,023 \text{ m}$$

c. Menentukan jari-jari ekuivalen zona pengaruh PVD

$$d_e = 1,05 \times S = 1,05 \times 1 = 1,05 \text{ m}$$

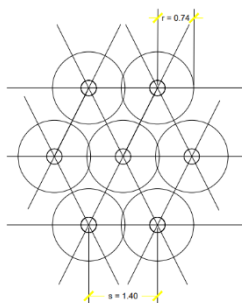
$$r_e = \frac{1,05}{2} = 0,53 \text{ m}$$

Tabel 4.11 Jari-jari Ekuivalen Zona Pengaruh PVD dengan Konfigurasi Segitiga

Spasi (m)	d _e (m)	r _e (m)
1	1,05	0,53
1,2	1,26	0,63
1,4	1,47	0,74
1,6	1,68	0,84

Pada perencanaan ini PVD yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut.

- Konfigurasi : Segitiga
 a (lebar PVD) : 4 mm
 b (ketebalan PVD) : 100 mm
 r : 0,74 m
 Spasi : 1,4 m
 Kedalam : 17 m



Gambar 4.3 Konfigurasi PVD Pola Segitiga Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanpa Efek *Smear Zone*

a. Menghitung nilai n

- Nilai n dengan konfigurasi segitiga dan spasi 1 m

$$n = \frac{d_e}{d_w} = \frac{1,05}{0,066} = 15,85 \text{ m}$$

- Nilai n dengan konfigurasi segiempat dan spasi 1 m

$$n = \frac{d_e}{d_w} = \frac{1,13}{0,066} = 17,04 \text{ m}$$

Maka nilai n untuk untuk spasi 1,2 m, 1,4 m, dan 1,6 m, sebagai berikut ini.

Tabel 4.12 Nilai n dari konfigurasi segitiga dan segiempat

Spasi	Segitiga
1	15,85
1,2	19,03
1,4	22,20
1,6	25,37

b. Nilai dari C_v

$$C_v = 8,199 \text{ m}^2/\text{tahun} = 0,023 \text{ m}^2/\text{hari}$$

c. Menghitung nilai dari C_h

$$C_h = 1,2 \times C_v = 1,2 \times 8,199 = 9,84 \text{ m}^2/\text{tahun} = 0,027 \text{ m}^2/\text{hari}$$

d. Menghitung besar faktor waktu pengaliran vertikal dan radial dengan *vertical drain*

$$t = 60 \text{ hari}$$

$$H^2 dr = 132,25 \text{ m}$$

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H^2 dr} = \frac{0,023 \times 60}{132,25} = 0,010$$

$$T_r = \frac{C_h \times t}{d_e^2} = \frac{0,027 \times 60}{(1,05)^2} = 1,467$$

e. Menghitung derajat konsolidasi vertikal dan horizontal, karena T_v yang memiliki nilai sama. T_v ≤ 0,2 maka rumus yang akan digunakan sebagai berikut.

$$U_v = \sqrt{\frac{4 \times T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,010}{3,14}} = 0,1139 \times 100 \% = 11,39 \%$$

f. Menghitung nilai F_(n)

$$F_{(n)} = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2} = \frac{15,85^2}{15,85^2-1} \ln(15,85) - \frac{3 \times 15,85^2-1}{4 \times 15,85^2} = 2,03$$

Tabel 4.13 Nilai F_(n) Konfigurasi Segitiga dan Segiempat

Spasi	Segitiga
1	2,03
1,2	2,20
1,4	2,36
1,6	2,49

g. Derajat konsolidasi rata-rata untuk arah horizontal (U_h)

$$U_h = 1 - \exp \left[\frac{-8T_r}{F_{(n)}} \right] = 1 - \exp \left[\frac{-8 \times 1,467}{2,03} \right]$$

$$= 0,9970 \times 100 \% = 99,70 \%$$

h. Besar derajat konsolidasi total

$$U = 1 - [(1 - U_v) \times (1 - U_h)]$$

$$= 1 - [(1 - 0,1139) \times (1 - 0,9970)]$$

$$= 0,9970 \times 100 \% = 99,7 \%$$

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi

t(hari)	U _{total}							
	Segitiga				Persegi			
	1 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m	1 m	1,2 m	1,4 m	1,6 m
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10	63,70%	48,51%	37,56%	29,85%	57,52%	43,16%	33,22%	26,38%
20	86,46%	72,75%	59,94%	49,44%	81,46%	66,80%	54,18%	44,30%
30	94,93%	85,52%	74,18%	63,39%	91,87%	80,52%	68,41%	57,67%
40	98,10%	92,28%	83,33%	73,43%	96,43%	88,54%	78,18%	67,76%
50	99,28%	95,88%	89,21%	80,69%	98,43%	93,25%	84,90%	75,41%
60	99,73%	97,80%	93,01%	85,95%	99,31%	96,02%	89,54%	81,22%
70	99,90%	98,82%	95,47%	89,77%	99,69%	97,65%	92,75%	85,65%
80	99,96%	99,37%	97,06%	92,55%	99,87%	98,61%	94,97%	89,03%
90	99,99%	99,66%	98,10%	94,57%	99,94%	99,18%	96,51%	91,61%
100	99,99%	99,82%	98,76%	96,04%	99,97%	99,52%	97,58%	93,58%
110	100,00%	99,90%	99,20%	97,11%	99,99%	99,71%	98,32%	95,08%
120	100,00%	99,95%	99,48%	97,89%	99,99%	99,83%	98,83%	96,23%
130	100,00%	99,97%	99,66%	98,46%	100,00%	99,90%	99,19%	97,11%
140	100,00%	99,99%	99,78%	98,88%	100,00%	99,94%	99,44%	97,79%
150	100,00%	99,99%	99,86%	99,18%	100,00%	99,96%	99,61%	98,31%
160	100,00%	100,00%	99,91%	99,40%	100,00%	99,98%	99,73%	98,70%
170	100,00%	100,00%	99,94%	99,56%	100,00%	99,99%	99,81%	99,00%
180	100,00%	100,00%	99,96%	99,68%	100,00%	99,99%	99,87%	99,24%

Berdasarkan perhitungan tersebut, untuk mencapai derajat konsolidasi 90 % dengan jangka waktu 60 hari, maka pilihan yang tepat yaitu dengan konfigurasi segitiga dengan spasi 1,4 meter.

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Tabel 4.15 Rencana Anggaran Biaya PVD dengan Konfigurasi Segitiga

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Kuantitas	Harga Satuan (Rupiah)	Jumlah Harga (Rupiah)
I Pekerjaan Prefabricated Vertical (PVD)					
1	Mobilitas & Demobilitas Alat Pancang PVD	Unit	2	Rp 200.000.000	Rp 400.000.000
2	Pemasangan PVD (Ce Teau Drain, t = 4 mm)	m'	16.967	Rp 3.800	Rp 64.474.600
3	Pemasangan PVD, pola Segitiga s=1,4 Lavg = 17	m'	16.967	Rp 5.900	Rp 100.105.300
II Pekerjaan Prefabricated Horizontal Drain (PHD)					
1	Pengadaan Material PHD (20 x 100) mm	m'	38.837	Rp 21.600	Rp 838.879.200
2	Pemasangan PHD	m'	38.837	Rp 2.500	Rp 97.092.500
III Pengendalian Mutu					
1	Mobilitas & Demobilitas Alat Instrumen Geoteknik	Ls	1	Rp 54.000.000	Rp 54.000.000
2	Settlement Plate (1 titik setiap 2500 m2)	Titik	13	Rp 2.500.000	Rp 32.500.000
3	Vibrating Wire Piezometer, 3 tip (-17, -11, 16) m, setiap 10.000 m2	Titik	3	Rp 46.000.000	Rp 138.000.000
4	Inclinometer, Lmax = 21	Titik	3	Rp 33.100.000	Rp 99.300.000
5	Monitoring Settlement Plate	Bulan	13	Rp 29.400.000	Rp 382.200.000
6	Monitoring Vibrating Wire Piezometer	Bulan	3	Rp 32.100.000	Rp 96.300.000
7	Monitoring Inclinometer	Bulan	3	Rp 33.500.000	Rp 100.500.000
8	Laporan Monitoring	Bulan	6	Rp 5.000.000	Rp 30.000.000
9	Evaluasi Final Settlement	Ls	1	Rp 25.000.000	Rp 25.000.000
IV Penimbunan					
1	Tanah Urug	m3	276855	Rp 45.796	Rp 12.678.851.580
Jumlah Harga sebelum PPN 10%					Rp 15.137.203.180

PENUTUP

Kesimpulan

1. Penurunan tanah yang dialami sebesar 3,91meter dengan metode kombinasi *preloading* dan PVD.
2. Tebal timbunan yang dibutuhkan untuk mencapai elevasi target pada *runway strip* di Bandar Udara Juwata Tarakan yaitu sebesar 8,69 meter.
3. Hasil analisa perhitungan konsolidasi tanah pada Bandar Udara Juwata Tarakan yaitu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% membutuhkan waktu 60 hari, dengan konfigurasi segitiga. Jarak antar PVD direncanakan menggunakan 1,4 meter dan jari-jari 0,74 meter.
4. Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan pada perencanaan PVD yaitu sebesar Rp.15.137.203.180 dengan konfigurasi segitiga, yang mana jarak antar PVD 1,4 meter dengan kedalaman 17 meter.

Saran

1. Pada proses perencanaan sebaiknya meminimalisir korelasi parameter tanah, agar hasil lebih valid. Namun bila data lapangan sangat terbatas, maka disarankan untuk menggunakan korelasi yang *reliable*.

2. Untuk dapat mempersingkat waktu dalam perencanaan, maka dapat digunakan jarak antar PVD 1 meter. Namun, hal ini dapat memberi konsekuensi pada penambahan biaya pengadaan PVD yang cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Almeida, Marcio dan Marques Maria Esther Soares. 2013 *Design And Performance Of Embankments On Very Soft Soils*. London: CRC Press.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2012. *SNI 2812:2012. Cara Uji Konsolidasi Tanah Satu Dimensi*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [3] Brand, E. W. and Brenner, R. P. 1981. *Soft Clay Engineering*. New York: Elsevier.
- [4] Darwis. 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.
- [5] Das, Braja M. 1985. *Mekanika Tanah (Jilid 1) Terjemahan*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Das, Braja M. dkk. 1994. *Mekanika Tanah II (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I dan II*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- [8] Das, Braja M. 2002. *Principles of geotechnical engineering edisi 5*. Australia: Australia Brooks/Cole.
- [9] Hansbo, S. 2004. *Experience of Consolidation Process from Test Areas with and without Vertical Drains*. Sweden: Chalmers University of Technology.
- [10] Hardiyatmo. 2008. *Teknik Fondasi Edisi 4*. Jakarta.
- [11] Irsyam, Masyhur. 2012. *Rekayasa Pondasi*. Bandung: ITB PRESS.
- [12] J. Patrick Powers P.E. 1992. *Construction Dewatering, New Methods and Applications*. New York : John Wiley & Sons, Inc, Second Edition.
- [13] Menteri Perhubungan RI. 2017. *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara No. 326 Tahun 2017 tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standard CASR Part 139), Volume I Bandar Udara (Aerodrome)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.
- [14] Michael, Joshua dan Aksa Kawanda. 2020. *Perencanaan Prefabricated Vertical Drain Menggunakan Metode Elemen untuk Memperoleh Pola dan Jarak yang Efektif*. Jakarta: Universitas Tarumanegara.
- [15] Munthe, Daniel Anderson. 2020. *Analisa Pengaruh Jarak dan Pola Pemasangan PVD Terhadap Derajat Konsolidasi pada Tanah Timbunan Reklamasi Belawab Fase II*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- [16] Pasaribu, H. T. dan Iskandar R. 2012. *Analisa Penurunan pada Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi Kasus Runway Bandar Udara Medan)*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- [17] Pedomon Kimpraswil. 2002. *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- [18] Putra, Herdian Ricky, Riko Zuhendra, dkk. 2018. *Studi Efisiensi Konfigurasi Pemasangan PVD dari Segi Teknis dan Biaya Konstruksi*. Padang: Universitas Bung Hatta.
- [19] Sathanathan, I., Rujikiatkomjorn, dkk. 2005. *Analytical an Numerical Modelling Of Soft Stabilized by Prefabricated Vertical Drains Incorporating Vacuum Preloading*. Australia: Internasional Jurnal of Geomechanics.

- [20] Sherif Abdel Salam. 2007. *The Effect Of Replacement Soil On Reducing Settlement Of Footing On Deep Soft Clay Using Numerical Approach*. Kairo: Cairo University, Giza, egypt, thesis 2007.
- [21] Terzaghi, B. R., & Peck, K. 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Willey & Sons.
- [22] Terzaghi, Karl and Peck, B Ralph. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: Willey.
- [23] Terzaghi, Karl and Peck, B Ralph. 1997. *Soil Mechanics in Engineering Practice, Second Edition*. New York: John Willey & Sons.
- [24] Unit Penyelenggara Bandar Udara Kelas 1 Utama Juwata Tarakan. 2019. *Laporan Pra Akhir Bandar Udara Juwata Tarakan*. Tarakan: Unit Penyelenggara Bandar Udara Kelas 1 Utama Juwata Tarakan.