

Analisis Perbaikan Tanah Lempung Pada Area Runway Bandar Udara Baru Pohuwato Gorontalo Menggunakan Metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Agung Syuhada Akbar, Linda Winiasri, Karina Meilawati Eka Putri
Politeknik Penerbangan Surabaya, Jl Jemur Andayani 1 No 73, Surabaya, 60236
Email: daengakbar1730@gmail.com

Abstrak

Bandar Udara Baru Pohuwato berada di Utara Pulau Sulawesi tepatnya di Desa Imboddu Kecamatan Randangan Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo dengan koordinat geografis 0° 27' 41.390" Lintang Utara (LU) dan 121° 48' 33.527" Bujur Timur (BT) serta sumbu Landas Pacu yang mempunyai azimuth 90°. Bandar Udara Pohuwato mempunyai peran strategis dalam mendukung upaya peningkatan peran angkutan udara dalam kaitan pembangunan daerah khususnya dan pembangunan nasional pada umumnya. Sesuai Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 166 tahun 2019 Bandar Udara pohuwato memiliki peran sebagai Simpul Aksesibilitas di pulau Sulawesi, gerbang ekonomi, Alih Moda Transportasi, Perdagangan dan Pariwisata, Dukungan Wilayah rawan bencana, serta berperan sebagai Bandar Udara yang memberikan nilai tambah terhadap wawasan kebangsaan. Pada pembangunan Bandar Udara Baru Pohuwato terdapat permasalahan kondisi tanah yang akan dibuat bagian Runway, Nilai N-SPT Tanah pada kedalaman 0 – 20m 4-8 merupakan tanah lempung Pasiran – *medium Clay* yang memerlukan perlakuan khusus. Mengacu Pada Hasil Penelitian Tenaga ahli didapatkan kesimpulan terdapat penurunan elastis sebesar 0,602 m, dan penurunan konsolidasi sebesar 0,702 m yang bersifat tidak seragam Tanpa Penanganan. Berdasarkan hasil Analisa dengan metode ini didapat bahwa hasi dari penurunan elastis sebesar 0,212 m. dengan Tebal timbunan yang di butuhkan adalah 6 meter untuk mencapai elevasi target.maka dari itu perencanaan PVD,dengan konfigurasi segitiga dengan jarak antara PVD yang dibutuhkan adalah 1,4 meter dengan jari jari PVD 0,74 meter dan kedalam 17 meter. Dalam perencanaan ini memiliki target tanah dapat terkonsolidasi dengan PVD selama 90 hari.perencanaan PVD tersebut membutuhkan anggaran biaya sebesar Rp.15.137.203.180. biaya tersebut meliputi pekerjaan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*), pekerjaan PHD (*Prefabricated Horizontal Drain*),Pengendalian mutu dan Penimbunan dengan Tanah urug.

Kata kunci: *Prefabricated Vertical Drain*, *Preloading*, Konfigurasi, Konsolidasi

Abstract

Airport Baru Pohuwato is located in the north of Sulawesi Island, precisely in Imboddu Village, Randangan District, Pohuwato Regency, Gorontalo Province, with geographical coordinates 0° 27' 41.390" North Latitude (N) and 121° 48' 33.527" East Longitude (BT) and the axis of the Runway which has an azimuth of 90°. Pohuwato Airport has a strategic role in supporting efforts to increase the role of air transportation in relation to regional development in particular and national development in general. In accordance with the Decree of the Minister of Transportation Number KM 166 of 2019, Pohuwato Airport has a role as an Accessibility node on the island of Sulawesi, an economic gateway, transfer of modes of transportation, trade and tourism, support for disaster-prone areas, and acts as an airport that provides added value to national insight. At the construction of Pohuwato New Airport there is a problem of soil conditions that will be made part of the Runway, N-SPT Value The soil at a depth of 0 – 20m 4-8 is Pasiran clay soil – Medium Clay which requires special treatment. Referring to the results of the research experts, it was concluded that there was an elastic decrease of 0.602 m, and a consolidation decrease of 0.702 m which was not uniform without

handling. Based on the results of the analysis with this method, it was found that the result of the elastic decrease was 0.212 m. with the thickness of the pile needed was 6 meters to reach the target elevation therefore PVD planning, with a triangular configuration with the distance between PVD needed is 1.4 meters with a radius of PVD 0.74 meters and a depth of 17 meters. In this planning has a target land can be consolidated with PVD for 90 days. PVD planning requires a budget of Rp.15,137,203,180. these costs include PVD work (Prefabricated Vertical Drain), PHD job (Prefabricated Horizontal Drain, Quality Control, and Landfill with buried soil.

Keywords: *Prefabricated Vertical Drain, Preloading, Configuration, Consolidation*

PENDAHULUAN

Bandar Udara Pohnuwo adalah salah satu Bandara yang sedang melaksanakan pembangunan di Indonesia, Lokasi Bandar Udara Pohnuwo terletak di Desa Imbodu Kecamatan Randangan Kabupaten Pohnuwo Provinsi Gorontalo dengan koordinat geografis 0o 27' 41.390" Lintang Utara (LU) dan 121° 48' 33.527" Bujur Timur (BT) serta sumbu Landas Pacu yang mempunyai azimuth 90° Rute Penerbangan yang di rencanakan dari Bandar Udara Pohnuwo ke kota Makassar, Palu dan Manado khususnya bagi penduduk daerah Parigi Moutong, Sulawesi Tengah, serta Kabupaten Boalemo. Pada pembangunan tahap awal (stage I) Bandar Udara Pohnuwo diperuntukan untuk melayani 27.000 Pnp/tahun dengan type pesawat ATR 72 terbatas.

Pemakaian Metode *Prefabracted Vertical Drain* (PVD) pada Area yang memiliki jenis tanah lempung berpasir, dimana merupakan metode Teknik Geoteknik yang digunakan untuk mempercepat proses penurunan tanah atau tanah berlumpur lembek, PVD digunakan untuk mempercepat proses pemadatan tanah dan mengurangi waktu yang dibutuhkan agar tanah menjadi lebih stabil.

Daniel Anderson Munthe (2020) melakukan analisa Pengaruh Jarak dan Pola Pemasangan PVD terhadap Derajat Konsolidasi pada Tanah Timbunan Reklamasi Belawan Fase II. Metode yang dipergunakan menggunakan metode PVD, menggunakan teori konsolidasi, dan menggunakan metode pembebanan. Analisis menggunakan Plaxis 2D berbeda dengan hasil perhitungan analitis Pemasangan PVD pola segitiga lebih cepat dari pada pola segiempat.

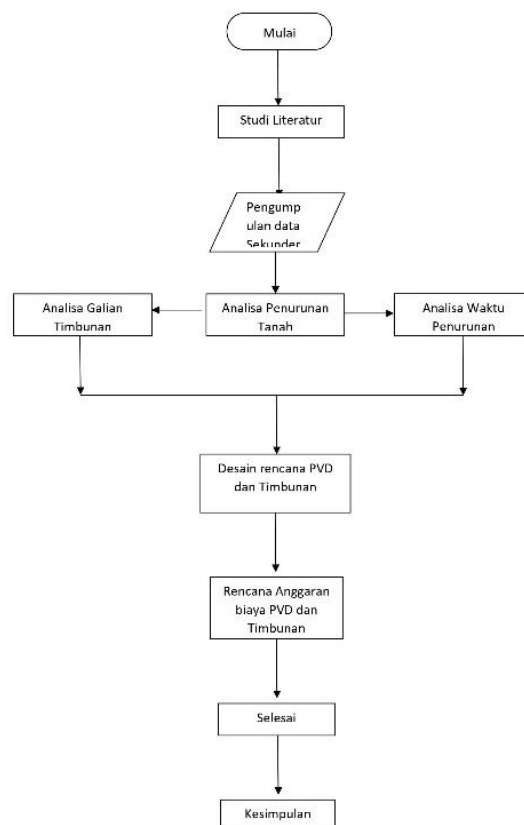
Joshua Michael dan Aksa Kawanda (2020) melakukan perencanaan Prefabricated Vertical Drain menggunakan Metode Elemen Hingga. Penelitian ini mencari data tanah asli berupa Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), data lab dan hasil test lapangan. Metode yang digunakan yaitu metode konsolidasi satu dimensi, metode elemen, metode asaoka. Hasil penelitian menunjukkan penurunan yang berbeda antara penurunan aktual dan analisis. Waktu penurunan yang berbeda menggunakan metode yang berbeda.

Herdian Ricky Putra, Riko Zuhendra, dkk (2018) meneliti Efisiensi Konfigurasi Pemasangan PVD dari Segi Teknis dan Biaya Konstruksi. Metode yang dipergunakan adalah konsolidasi untuk penurunan tanah dikombinasikan antara timbunan dan PVD serta Perhitungan penurunan konsolidasi dengan menggunakan persamaan Holtz dan William. PVD mempercepat proses konsolidasi Waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi dengan pemasangan PVD pola segitiga lebih cepat daripada pola persegi.

Berdasarkan deskripsi latar belakang, maka ada beberapa hal yang rumusan masalah dalam artikel ini sebagai berikut: berapa besar penurunan Tanah yang dihasilkan, berapa tinggi Timbunan dalam pekerjaan Pembangunan Runway Bandar Udara baru Pohuwato, Berapa lama waktu Konsolidasi Tanah yang di butuhkan.

METODE

Berikut adalah desain penelitian atau bagan alur yang digambarkan dalam diagram alur pada gambar 1 berikut.



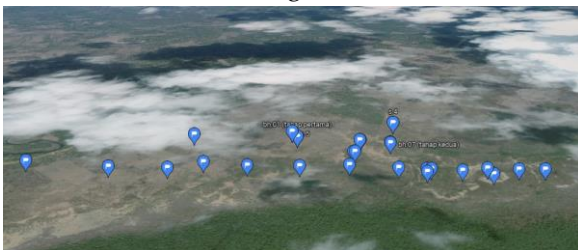
Gambar 1 Diagram alur penelitian

Pengumpulan Data

Lapisan Tanah Di tentukan dari hasil data kondisi di lapangan yaitu hasil dari Pengujian Sondir dan bor teknik. Dari hasil uji sondir dan bor teknik yang dilakukan pada 6 titik uji Sondir dan 16 uji Bor teknik. Namun pada penelitian ini hanya menggunakan satu titik yaitu titik BH-01. Hasil dari Uji lapangan tersebut yang akan digunakan yaitu nilai N-SPT sebagai Penentuan Konsolidasi tanah. Sedangkan data dari hasil uji laboratorium akan di gunakan sebagai penentuan jenis tanah di area tersebut



a. Kondisi eksisting



b. Titik bor teknik

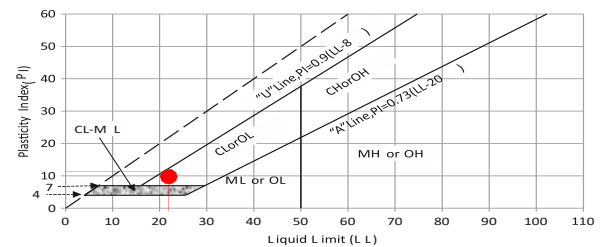
Gambar 2. Kondisi Bandar Udara Pohuwato

Analisis Data

Data Uji Laboratorium digunakan untuk memenuhi data yang tidak tertera pada data aslinya. Untuk itu data dari Uji Laboratorium diambil dari pelaksanaan

Pembangunan Bandar Udara Pohuwato Gorontalo. Data Uji Laboratorium yang di pakai diperuntukan untuk menghitung Penurunan Tanah dan Waktu Konsolidasi Penurunan tanah.

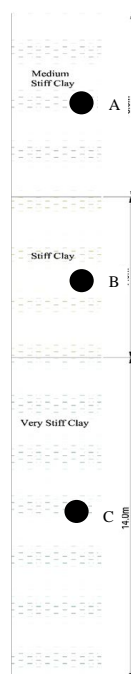
SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS				
PROJECT		: BANDARA POHUWATO		
LOCATION		: GORONTALO		
BORING NUMBER		: BH 1		
BORING DEPTH		: Varies		
Bore Hole No.	-	BH 1 - POH	Remark	
Sample	-	1		
Sample Depth	m	4.50 - 5.00 m		
Specific Gravity (Gs)	-	2.63		
Dry Density (gd)	gr/cm ³	1.46		
) Na Un dis tur all Sta be tes (Water Content (w)	%		22.11
	Wet Density (g _{wet})	gr/cm ³		1.77
	Void ratio (e)	-		0.82
	Porosity (n)	-		45.09
	Degree of Saturation (Sr)	%		70.33
Gr An aly sis at on	Gravel	%		4.14
	Sand	%		8.20
	Silt + Clay	%		87.65
	Clay	%		
Att est ber g	Liquid Limit (LL)	%		22.58
	Plastic Limit (PL)	%	12.46	
	Plasticity Index (PI)	%	10.13	
	Shrinkage Limit (SL)	%	-	
Ko ris oil da si Test	Compressibility Index (cc)	Cc	0.15	
	Swelling Index (Cr)	Cr	0.007	
	Preconsolidation pressure	kPa	120.00	
	Overconsolidated ratio (OCR)	-	3.04	
	Undrained Cohesion (c)	kg/cm ²	0.07	



Gambar 3. Grafik Plasticity Index

Analisa Settlement Tanah

Perhitungan Settlement ini memiliki muka air tanah yang berada di permukaan tanah. setiap lapisan memiliki titik tengah nya masing masing. yang mana titik tengah tersebut juga H1 atau setengah tebal dari tanah pada setiap Lapisan tanah nya .



Gambar 4. Permukaan air tanah

Perhitungan muka air tanah dihitung dari permukaan tanah dan mencari titik tengah dari perlapisan tanahnya. Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Sebelum menghitung Penurunan diperlukan menghitung Tegangan efektif dan diperlukan menghitung total

$$\begin{aligned} \sigma A &= H1 \times Y_{sat} \\ &= 4 \times 18 \\ &= 72 \text{ kPa} \\ UA &= H2 \times Y_w \\ &= 4 \times 10 \\ &= 40 \text{ kPa} \end{aligned}$$

a. Lapisan Tanah B

$$\begin{aligned} \sigma B &= (HA \times Y_{sat}) + (H1 \times Y_{sat}) \\ &= (8 \times 18) + (3,5 \times 19) \\ &= 144 + 66,5 \\ &= 210,5 \text{ kPa} \\ UB &= H2 \times Y_w \\ &= 11,50 \times 10 \\ &= 115 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b. Lapisan Tanah C

$$\begin{aligned} \sigma C &= (HA \times Y_{sat}) + (HB \times Y_{sat}) \\ &\quad + (H1 \times Y_{sat}) \\ &= (8 \times 18) + (7 \times 19) + (7 \times 2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 144 + 133 + 14 \\ &= 291 \text{ kPa} \\ UC &= H2 \times Y_w \\ &= 22 \times 10 \\ &= 220 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan Efektif

a. Lapisan Tanah A

$$\sigma A' = 72 - 40 = 32 \text{ kPa}$$

b. Lapisan Tanah B

$$\sigma B' = 210,5 - 115 = 95,5 \text{ kPa}$$

c. Lapisan Tanah C

$$\sigma C' = 22 \times 10 = 220 \text{ kPa}$$

H1 tersebut merupakan setengah dari tebal pada setiap lapisan tanahnya. Sedangkan H2 merupakan tebal lapisan di atasnya dijumlahkan dengan setengah dari tebal lapisan dibawahnya. Y_{sat} , Y_w , C_c , e_0 , dan C_v merupakan data dari Hasil uji Laboratorium.

Analisa Konsolidasi besar Penurunan Tanah

Tinggi timbunan yang akan di jadikan oleh tanah dasar akan diuraikan dalam bentuk tabel berikut merupakan tabel dari tinggi timbunan yang akan di perlukan.

Tabel 1. Perhitungan tinggi timbunan

No	Nama	Nilai	Satuan
1	El. Bottom Perkerasan Tanah	3,56	m'
2	El. Eksisting Permukaan Tanah	3	m'
3	Tinggi timbunan di Bawah Perkerasan (H1)	2,5	m'
4	Ekivalen Beban Pesawat terkritis Boeing 737-800 NG	3,22	m'
5	Tinggi timbunan Total (3+4)	5,72	m'
6	Ekivalen Beban	0,69	m'

No	Nama	Nilai	Satuan
	Perkerasan		

Selanjut nya menghitung $\Delta\sigma$ yaitu dengan Ysat timbunan di kali dengan elevasi total pada perencanaan pembangunan Bandar Udara Pohnuato elevasi total nya adalah 2,5m dan Ysat timbunan nya adalah 1,86 KN/m² setelah menemukan kedua perhitungan tersebut dapat dihitung dengan perhitungan berikut ini

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= \text{beban pesawat} \\ &+ (\text{Ysat timbunan} \times \text{elevasi total}) \\ &+ \text{Beban Perkerasan} \\ &= 60\text{kN/m}^2 + (18,6 \text{ KN/m}^2 \times 2,5\text{m}) + 0,69 \\ &= 65,15 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Pada Tahap awal perkerjaan

$$\text{Tinggi timbunan} = 2,5 + \frac{60}{18,6} + \frac{BP}{18,6}$$

$$\text{Tinggi timbunan} = 2,5 + \frac{60}{18,6} + \frac{0,69}{18,6}$$

$$\text{Tinggi timbunan} = 5,75 \text{ m}$$

Lapisan Pertama

$$\text{Overconsolidated } \sigma'o + \Delta\sigma < \sigma'c$$

$$= 32 + 65,15 < 120,00$$

$$= 97,15 < 120,00$$

$$se = \frac{0,007 \times 8}{1 + 0,082} \log \frac{32 + 65,15}{32}$$

$$= 0,0517 \log 3,035$$

$$= 0,0248 \text{ m}$$

Lapisan Kedua

$$\text{Overconsolidated } \sigma'o + \Delta\sigma < \sigma'c$$

$$= 95,5 + 65,15 < 120,00$$

$$= 160,65 > 120,00$$

bila $\sigma'o + \Delta\sigma' > \sigma'c$, maka:

$$se = \frac{Cs \times H}{1 + e0} \log \frac{\sigma, c}{\sigma'o} + \frac{Cc \times H}{1 + e0} \log \frac{\sigma'o + \Delta\sigma}{\sigma'c}$$

$$se = \frac{0,007 \times 8}{1 + 0,082} \log \frac{120,00}{95,5}$$

$$+ \frac{0,15 \times 8}{1 + 0,082} \log \frac{95,5 + 65,5}{95,5}$$

$$se = 0,0517 \log 1,25 + 1,109 \log 1,68$$

$$se = 0,005 + 0,249$$

$$= 0,254 \text{ m}$$

$$se \text{ total} = 0,0248 + 0,254 = 0,2788 \text{ m}$$

Setelah menghitung besar Penurunan dan mendapatkan hasil besar penurunan totalnya maka perlu hitung kembali tinggi timbunan nya agar mendapat kan hasil yang sesuai dengan tinggi timbunan yang diharapkan

$$\Delta T = \text{Tinggi timbunan} \times H \text{ lapisan 1}$$

$$\Delta T = 5,75 \times 18,6$$

$$\Delta T = 106,95 \text{ kPa}$$

Selanjut nya ΔT di masukan kedalam perhitungan besar penurunan (se) untuk mendapatkan tinggi timbunan yang mendekati dengan 6 meter.

Lapisan tanah 1

$$se = \frac{0,007 \times 8}{1 + 0,82} \log \frac{32 + 106,95}{32}$$

$$se = 0,019 \text{ m}$$

Lapisan Tanah 2

se

$$= \frac{0,007 \times 7}{1 + 0,82} \log \frac{120,00}{95,5}$$

$$+ \frac{0,15 \times 7}{1 + 0,84} \log \frac{95,5 + 106,95}{95,5}$$

$$se = 0,026 \log 1,25 + 0,57 \log 2,11$$

$$se = 0,00251 + 0,1848$$

$$se = 0,18731 m$$

$$se\ total = 0,019 + 0,18731 = 0,20631 m$$

$$\Delta T\ baru = 5,75 + 1,2 \times 0,20631 = 6 m$$

$$\Delta T\ baru = 6 \times 18,6 = 111,6 kPa$$

Lapisan Tanah 1

$$se = \frac{0,007 \times 8}{1 + 0,82} \log \frac{32 + 111,6}{32}$$

$$se = 0,03 \log 4,48$$

$$= 0,0195 m$$

Lapisan Tanah 2

$$se = \frac{0,007 \times 7}{1 + 0,82} \log \frac{120}{95,5}$$

$$+ \frac{0,15 \times 7}{1 + 0,84} \log \frac{95,5 + 111,6}{95,5}$$

$$se = 0,026 \log 1,25 + 0,57 \log 2,16$$

$$se = 0,00251 + 0,19$$

$$se = 0,19251 m$$

$$se\ total = 0,0195 + 0,19251$$

$$se\ total = 0,212 m$$

$$6\ meter - 0,212\ meter = 5,788\ meter$$

Analisa Waktu Penurunan Konsolidasi Tanah Maksimal

Analisa waktu penurunan diperlukan perhitungannya untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan dalam penurunan Konsolidasi tanah.

$$Cv = 0,2725\ cm/menit$$

$$Tv = 0,848$$

$$Hdr^2 = 15^2$$

$$t_{90} = \frac{Tv \times Hdr^2}{Cv}$$

$$t_{90} = \frac{0,848 \times 15m^2}{0,2725\ cm/menit}$$

$$t_{90} = \frac{1908000}{0,2725}$$

$$t_{90} = 7001834,86\ menit = 13,32\ tahun$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Desain Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Dalam perencanaan PVD diperlukan penentuan dimensi yang akan digunakan. hal ini diperlukan untuk mendapatkan dimensi spasi dan konfigurasi PVD maka dari itu diperlukan nya perhitungan dengan memvariasikan konfigurasi dan spasi tersebut. Sehingga akan didapatkan desain PVD sesuai yang direncanakan. PVD memiliki dua jenis konfigurasi yaitu Konfigurasi segitiga dan segiempat. Sedangkan spasi yang akan digunakan adalah 1 m, 1,2 m, 1,4 m dan 1,6 m.

Setelah selesai dalam merencanakan bentuk desain PVD selanjutnya di perlu dilakukanya perhitungan dengan mengkombinasikan konfigurasi konsolidasi (U) dan waktu yang dibutuhkan oleh karena itu pada penelitian ini akan memperhitungkan konfigurasi segiempat dan spasi yang berbeda.

Perencanaan PVD Konfigurasi Segitiga

Desain PVD yang di rencanakan ini dilakukan dengan konfigurasi 4 spasi yaitu 1 m, 1,2 m, 1,4 m, dan 1,6 m. berikut ini adalah merupakan tahapan perhitungan yang dilakukan untuk permodelan PVD *vertical drain* dengan menggunakan spasi 1 meter, dalam perhitungan ini menggunakan rumus persamaan di bawah ini:

1. Menentukan jari-jari ekuivalen PVD

$$dw \frac{2(a+b)}{\pi} = \frac{2(0,005 + 0,10)}{3,14}$$

$$= 0,066 m$$

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

2. Menentukan diameter *mandrel*

$$dm = \sqrt{\frac{4 \times Am}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times (0,005 \times 0,10)}{3,14}} = 0,025 \text{ m}$$

3. Menentukan Jari-jari ekuivalen zona pengaruh PVD

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

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

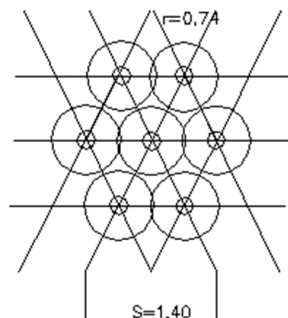
Nilai dari d_e dan r_e Selanjutnya akan dihitung dengan spasi 1,2 m, 1,4 m, dan 1,6 m. berikut merupakan hasil dari perhitungannya.

Tabel 2. Hasil Perhitungan PVD 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) : 5 mm
 b (Ketebalan PVD): 100 mm
 r (jari-jari) : 0,74 m
 spasi : 1,4 m
 Kedalam : 17 m



Gambar 5. Hasil Perhitungan PVD Konfigurasi Segitiga

Perhitungan Derajat Konsolidasi tanpa Efek Smear Zone

Untuk menghitung derajat konsolidasi menggunakan PVD tanpa efek *smear zone*. Perhitungan ini menggunakan rumus dari Barron (1948) yang selanjutnya dikembangkan oleh Kjellman (1949). Berikut tahap-tahap perhitungannya disajikan di bawah ini.

a. Menghitung nilai n

-Nilai n dengan konfigurasi segitiga dan spasi 1 m

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

-Nilai n dengan konfigurasi segiempat dan spasi 1m

$$n = \frac{de}{dw} = \frac{1,13}{0,066} = 17,12 \text{ m}$$

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

Tabel 3. Konfigurasi segitiga

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

Tabel 4. Konfigurasi segiempat

Spasi	Segi Empat
1	17,12
1,2	20,54
1,4	21,21
1,6	24,24

b. Nilai dari C_v

$$C_v = 0,2725 \text{ cm/menit} = 13,32 \text{ cm/tahun}$$

c. Menghitung nilai dari C_h

$$C_h = 1,2 \times C_v = 1,2 \times 13,32 \text{ cm} = 15,984 \text{ cm/tahun} = 0,0437 \text{ cm/hari}$$

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

$$t = 90 \text{ hari}$$

$$t_v = 0,848$$

$$Tr = \frac{Ch \times t}{de^2} = \frac{0,0437 \times 90}{(1,05)^2} = 3,567$$

e. menghitung nilai $F(n)$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$$

$$= \frac{17,12^2}{17,12^2-1} \ln(17,12) - \frac{3 \times 17,12^2-1}{4 \times 17,12^2}$$

$$= 2,03$$

Derajat konsolidasi rata-rata untuk arah horizontal (U_h)

$$U_h = 1 - \exp\left[\frac{-8Tr}{F(n)}\right]$$

$$= 1 - \exp\left[\frac{-8 \times 3,567}{2,03}\right]$$

$$= 0,9999 \times 100\% = 99,90\%$$

Besar derajat konsolidasi total

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

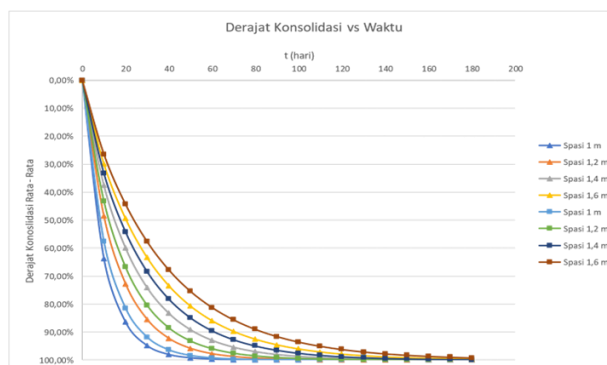
$$= 1 - [(1 - 0,848) \times (1 - 0,9999)]$$

$$= 0,9999 \times 100\% = 99,9\%$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dipaparkan maka akan dibentuk dalam bentuk tabel dan dikelompokkan berdasarkan konfigurasi dan spasinya. Berdasarkan perhitungan tersebut, untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan jangka waktu 90 hari, maka pilihan yang tepat yaitu dengan konfigurasi segitiga dengan spasi 1,4 meter.

Tabel 4. 5. 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	61,93%	45,99%	26,43%	34,52%	57,52%	43,16%	33,22%	26,38%
20	85,51%	70,83%	45,88%	57,12%	81,46%	66,80%	54,18%	44,30%
30	94,48%	84,25%	60,18%	71,92%	91,87%	80,52%	68,41%	57,67%
40	97,90%	91,49%	70,71%	81,62%	96,43%	88,54%	78,18%	67,76%
50	99,20%	95,41%	78,45%	87,96%	98,43%	93,25%	84,90%	75,41%
60	99,70%	97,52%	84,15%	92,12%	99,31%	96,02%	89,54%	81,22%
70	99,88%	98,66%	88,34%	94,84%	99,69%	97,65%	92,75%	85,65%
80	99,96%	99,28%	91,42%	96,62%	99,87%	98,61%	94,97%	89,03%
90	99,98%	99,61%	93,69%	97,79%	99,94%	99,18%	96,51%	91,61%
100	99,99%	99,79%	95,36%	98,55%	99,97%	99,52%	97,58%	93,58%
110	100,00%	99,89%	96,58%	99,05%	99,99%	99,71%	98,32%	95,08%
120	100,00%	99,94%	97,49%	99,38%	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%



Gambar 6. Derajat konsolidasi vs waktu

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan perencanaan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan dalam beberapa hal sebagai berikut:

1. Penurunan tanah yang dialami sebesar 0,212 meter Selama kurun waktu 90 hari.
2. Tinggi timbunan yang dibutuhkan dalam Pekerjaan area Pembangunan Runway Bandar Udara Pohuwato Gorontalo untuk mencapai yaitu sebesar 6 meter.

3. Hasil analisa perhitungan konsolidasi tanah pada Pekerjaan Pembuatan Bandar Udara Pohnuwo Gorontalo yaitu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% membutuhkan waktu 90 hari, dengan konfigurasi segitiga. Jarak antar PVD direncanakan menggunakan 1,4 meter dan jari-jari 0,74 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aguan. (2021). *Karakteristik geotekstil dan jenis nya*. Surabaya,Indonesia: PT. Mega Abadi Perkasa
- [2] American Standard Testing and Mineral. (2023). *Standard Terminology for Geosynthetics*. United States: ASTM International.
- [3] Biology LibreTexts. (2022). *Pengertian Tanah lempung dan tanah lempung Berpasir*.
- [4] Carter, Micheal and Bentley, Stephen P. 1991. *Correlations of Soil Properties*. Amerika Serikat: Pentech Press.
- [5] Das. (1995). *Pengertian Tanah secara Teknik umum*.
- [6] Didiet Adhitya Melle, Popo jatmiko.(1999). *Pemakaian Geotextile Sebagai perkuatan tanah lunak pada badan jalan*.
- [7] Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor. (2019).*KP 326 Tahun 2019 Tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standart CASR – Part 139) Volume I Bandar Udara (Aerodrome)*.Jakarta.
- [8] Direktur Jenderal Perhubungan Udara. (2021). *Nomor KP 14 Tahun 2021 tentang Spesifikasi Teknis Pekerjaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara* Jakarta.
- [9] Direktur Jenderal Perhubungan Udara. (2021). *Nomor KP. 13 Tahun 2021 tentang Rencana Strategis Dirjen Perhubungan Udara Tahun 2020-2024*.Jakarta.
- [10]Direktur Jendral Perhubungan Udara. (2015). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 94 Tahun 2015 Tentang Pedoman Teknis Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139-23 (Advisory Circular CASR Part 139-23), Pedoman Program Pemeliharaan Konstruksi Perkerasan Bandar Udara (Pavement*

- Management System*). Jakarta.
- [11] Dos Santos, M., & Suryono, W. (2023, February). Planning of Rigid Pavement on Surface Level Heliport at Rahadi Oesman Airport Ketapang–West Kalimantan. In *International Conference on Advance Transportation, Engineering, and Applied Science (ICATEAS 2022)* (pp. 233-250). Atlantis Press.
- [12] Fadhliyah Nurul Azizah, Niken Silmi Surjandari, sholihin As'ad. (2014). *Penggunaan Geotekstil pada Lereng Sungai Gajah Putih Surakarta*.
- [13] Fauizek dkk. (2018). *Jurnal tentang Pengertian tanah dan karakteristik tanah*.
- [14] Fauzi, H. Y., & Winiasri, L. (2021). Perencanaan Stopway Pada Ujung Runway 01 Dengan Flexible Pavement Di Bandar Udara Kalimantan Berau. In *Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)* (Vol. 5, No. 2).
- [15] Kurniadji. (1992). *Penelitian Penggunaan Geotekstil untuk Pelapisan Ulang Perkerasan*.
- [16] Kharima, D. H., Hartatik, N., & Winiasri, L. (2022). Analisis Tingkat Kerusakan Perkerasan Flexible Pada Apron Dengan Metode Pci Di Bandar Udara Rahadi Oesman Ketapang. In *Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)* (Vol. 6, No. 1).
- [17] Materials, A. S. (2012). *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*. United States: ASTM International.
- [18] Menteri Perhubungan Nomor. (2013). *KP 925 Tahun 2013 tentang Penetapan Lokasi Bandar Udara Pohuwato di Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo*. Jakarta.
- [19] Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2014). *Nomor : PM 78 Tahun 2014 tentang Standar Biaya di Lingkungan Kementerian Perhubungan*. Jakarta.
- [20] 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 60 Part 139), Volume I Bandar Udara (Aerodrome)*.

Jakarta: Direktorat Jenderal
Perhubungan Udara.

John Willey & Sons.

[21] Michael, Joshua dan Aksa

Kawanda. 2020. *Perencanaan
Prefabricated Vertical Drain
Menggunakan Metode Elemen untuk
Memperoleh Pola dan Jarak yang
Efektif*. Jakarta: Universitas
Tarumanegara.

[22] Pemerintah Daerah Kabupaten

Pohuwato. (2022). *Standarisasi Harga
Barang dan Jasa Tahun 2022
Pemerintah Daerah
Pohuwato*. Gorontalo.

[23] Sinta Amilaila Arvindu. 2021.

*Analisa perbaikan Tanah dengan
Metode Prefabricated Vertical Drain
pada Runway Strip di Bandar Udara
Juwata Tarakan*. Surabaya: Politeknik
Penerbangan Surabaya

[24] Terzaghi, B. R., & Peck, K. 1943.

Theoretical Soil Mechanics. New York:
John Willey & Sons.

[25] Terzaghi, Karl and Peck, B Ralph.

1967. *Soil Mechanics in Engineering
Practice*. New York: Willey.

[26] Terzaghi, Karl and Peck, B Ralph.

1997. *Soil Mechanics in Engineering
Practice, Second Edition*. New York: