

PENGARUH EFEK SMEAR TERHADAP POLA PEMASANGAN DAN JARAK PEMASANGAN PADA PERBAIKAN TANAH DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN*

(Studi Kasus : Proyek Perpanjangan *Runway* Sultan Thaha Syaifuddin, Provinsi Jambi)

Daniel Irfan¹, Muhamad Yusa², Ferry Fatnanta³

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

^{2,3} Tenaga Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

Email: daniel.irfan7477@grad.unri.ac.id, m.yusa@eng.unri.ac.id, ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan lalu lintas udara di Bandar Udara Sultan Thaha Syaifuddin yang berada di Provinsi Jambi mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pemerintah Provinsi Jambi bersama PT. Angkasa Pura II melakukan peningkatan fasilitas bandara dan peningkatan klasifikasi bandara menjadi bandara internasional yakni dengan melakukan perpanjangan *runway* dan pembangunan gedung terminal. Dari investigasi tanah yang dilakukan pada area perpanjangan *runway*, hasil N-SPT relatif rendah dan dengan jenis tanah lempung yang memiliki sifat daya dukung yang rendah, kembang susut yang tinggi, waktu konsolidasi yang lambat dan besarnya *settlement* sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dengan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Analisis yang dilakukan adalah perbaikan tanah dengan PVD yang diberi *Preloading* dan memperhitungkan efek *smear*. Pada penelitian dilakukan variasi pola pemasangan yakni segitiga dan segiempat serta jarak pemasangan PVD (s) yakni = 1,0 m, 1,2 m dan 1,4 m. Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh peningkatan daya dukung tanah dasar permukaan, waktu konsolidasi yang semakin singkat, dan *settlement* terjadi untuk semua variasi sama yakni sebesar 1,42 m. Dari variasi penelitian yang dilakukan, pola pemasangan segitiga dengan jarak pemasangan PVD (s) = 1,0 m menjadi variasi yang efektif, karena waktu konsolidasi yang paling singkat yakni 1,03 tahun.

Kata Kunci : konsolidasi, *settlement*, *smear*, PVD, *preloading*

ABSTRACT

The increase in air traffic at Sultan Thaha Syaifuddin Airport in Jambi Province has increased every year. Jambi Provincial Government and PT. Angkasa Pura II has improved airport facilities and increased the classification of airports into international airports, namely by extending runways and constructing terminal buildings. From the soil investigation carried out in the runway extension area, the N-SPT results are relatively low and with the type of clay soil that has a low bearing capacity, high swelling and shrinkage, slow consolidation time, and large settlement so it is necessary to repair the soil using the *Prefabricated Vertical Drain* method (PVD). The analysis is soil improvement with PVD which is *preloading* and takes into account the *smear* effect. In this study, variations in the installation pattern were carried out, namely triangles and rectangles and the distance of the PVD (s) installation, namely = 1,0 m, 1,2 m, and 1,4 m. From the results of the analysis carried out, it was found that the surface subgrade bearing capacity increased, the consolidation time was shorter, and the settlement occurred for all the same variations, namely 1,42 m. From the variation of the research conducted, the triangular installation pattern with the PVD installation distance (s) = 1,0 m is an effective variation, because the shortest consolidation time is 1,03 years.

Keywords: Konsolidasi, *settlement*, *smear*, PVD, *preloading*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Peningkatan lalu lintas udara di Bandar Udara Sultan Thaha Syaifuddin (Bandara Sultan Thaha) yang berada di Kota Jambi, Provinsi Jambi mengalami peningkatan setiap tahunnya baik untuk penumpang maupun pesawat udara. Menurut BPS Kota Jambi, pada tahun 2017 terjadi peningkatan sebesar 19,21% untuk lalu

lintas pesawat udara dibandingkan tahun 2016 dan terjadi peningkatan 6,99% lalu lintas dibandingkan dengan tahun 2016. Pemerintah Provinsi Jambi bersama PT. Angkasa Pura II melakukan peningkatan fasilitas bandara dan klasifikasi bandara menjadi bandara internasional yakni dengan melakukan perpanjangan *runway* pembangunan gedung terminal.

Perpanjangan *runway* bandara yang sebelumnya berukuran 2220 m x 45 m akan diperpanjang menjadi

2610 m x 45 m agar dapat melayani pesawat-pesawat udara yang berbadan lebih besar seperti Boeing 737-900ER dan Airbus A320. Dari investigasi tanah yang dilakukan oleh PT. GWS Engineering sebagai konsultan perencana yang ditunjuk oleh PT. Angkasa Pura II pada daerah perpanjangan *runway* diperoleh hasil N-SPT ≤ 10 untuk tanah permukaan (kedalaman 0 – 2 m) dan jenis tanahnya adalah tanah lempung. Tanah lempung memiliki sifat daya dukung yang rendah, kembang susut yang tinggi, waktu konsolidasi yang lambat dan besarnya *settlement* yang terjadi. Berdasarkan data investigasi tanah tersebut, dikhawatirkan tanah dasar tidak mampu memikul beban di atasnya dan akan terjadi *settlement* yang besar dalam waktu yang cukup lama sehingga diperlukan suatu solusi untuk permasalahan tersebut. Perbaikan tanah dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dapat menjadi dapat menjadi alternatif.

Perbaikan tanah dengan PVD pada dasarnya dilakukan dengan cara memberikan beban awal berupa timbunan tanah yang dilengkapi sistem drainase buatan yang dipasang vertikal sedalam tanah yang akan diperbaiki. Perbaikan tanah dengan PVD bertujuan untuk mempercepat proses konsolidasi, sehingga *runway* dapat dipergunakan sesegera mungkin.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung tanah permukaan, besar konsolidasi dan lamanya waktu konsolidasi yang dibutuhkan terhadap beban rencana yang bekerja pada konstruksi *runway* sebelum dilakukan perbaikan., untuk mengetahui hasil perbaikan tanah apabila dilakukan dengan metode PVD dengan memperhitungkan efek *smear* yang di hitung secara teoritis (manual) dan untuk mengetahui pola pemasangan dan jarak pemasangan efektif setelah dilakukan perbaikan tanah dengan PVD.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Objek studi kasus dalam penelitian ini adalah proyek perpanjangan runway Bandara Sultan Thaha Syaifuddin, Provinsi Jambi.



Gambar 1. Lokasi *Runway* Bandara Sultan Thaha Syaifuddin, Provinsi Jambi

Area perpanjangan *runway* dibagi menjadi 4 (empat) zona yakni : Zona 1, Zona 2, Zona 3 dan Zona 4. Pembagian zona ini berdasarkan tinggi rata-rata timbunan dari tanah dasar yang telah dilakukan pengikisan (*stripping*) 0,3 m hingga mencapai elevasi bawah perkerasan. Pada jurnal ini akan ditampilkan hasil analisis perbaikan tanah dengan PVD pada zona 2.

Pengumpulan Data

Data Tanah Dasar

Data yang digunakan adalah data sekunder, korelasi dan asumsi. Data sekunder diperoleh dari pengujian yang dilakukan di lapangan maupun di laboratorium. Untuk pengujian di lapangan, data yang diperoleh berupa N-SPT, sedangkan untuk pengujian laboratorium berupa kuat tekan bebas (q_u), sudut geser (Φ), berat volume (γ), indeks kompresi (C_c), angka pori (e) serta koefisien konsolidasi vertikal (C_v).

Data Tanah Timbun

Data tanah timbun yang diperoleh yakni data kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density*- $\gamma_{dry maks}$), berat volume (γ) dan nilai berat jenis (*Spesiific Gravity*-Gs).

Data *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Data yang diperoleh untuk PVD adalah data material dari PVD yang digunakan, pola pemasangan PVD, jarak antar PVD dan kedalaman pemasangan PVD.

Tahapan Analisis

Pembuktian Diperlukannya Perbaikan Tanah

Pembuktian diperlukan untuk mengetahui tanah yang dikaji perlu diperbaiki atau tidak. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan *settlement* konsolidasi (Sc):

1. Menghitung beban rencana
2. Menghitung tegangan *overburden* efektif (P_o)
3. Menentukan faktor pengaruh beban timbunan (I)
4. Menghitung tegangan akibat beban timbunan (Δp)
5. Menghitung *settlement* (Sc) akibat beban rencana
6. Mengulang langkah 3 – 6 sampai dengan kedalaman yang telah ditentukan
7. Menghitung jumlah total Sc sampai dengan kedalaman yang ditentukan
8. Menghitung waktu konsolidasi alami serta derajat konsolidasi
9. Memeriksa jangka waktu yang dibutuhkan untuk pemampatan tanah. Apabila jangka waktu lebih dari 6 bulan, maka diperlukan perbaikan tanah

Perencanaan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Langkah-langkah perhitungan perencanaan PVD adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pola pemasangan PVD
2. Menentukan jarak PVD (s)
3. Menentukan lebar PVD
4. Menghitung koefisien konsolidasi horizontal (C_h)
5. Menghitung koefisien konsolidasi vertikal gabungan (C_v gabungan)
6. Menghitung diameter zona (d_e)
7. Menghitung diameter ekuivalen (d_w)
8. Menghitung faktor hambatan akibat jarak antara PVD (F) dengan *smear zone*
9. Menghitung waktu konsolidasi arah vertikal (T_v) dan derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)
10. Menghitung waktu konsolidasi arah horizontal (T_h) dan derajat konsolidasi arah horizontal (U_h)
11. Perhitungan dihentikan apabila derajat konsolidasi radial telah mencapai 90%
12. Membuat grafik hubungan waktu konsolidasi dengan derajat konsolidasi

Rancangan Variasi Penelitian

Rancangan variasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Variasi Penelitian

No.	Pola Pemasangan	Jarak Pemasangan, s (m)		
1	Segitiga	1,0	1,2	1,4
2	Segiempat	1,0	1,2	1,4

Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Untuk memperhitungkan daya dukung batas, digunakan persamaan daya dukung umum (*general bearing capacity equation*) dengan langkah-langkah :

1. Menghitung faktor bentuk
2. Menghitung faktor kedalaman
3. Menghitung faktor iklisasi
4. Menghitung daya dukung batas
5. Menghitung daya dukung batas netto

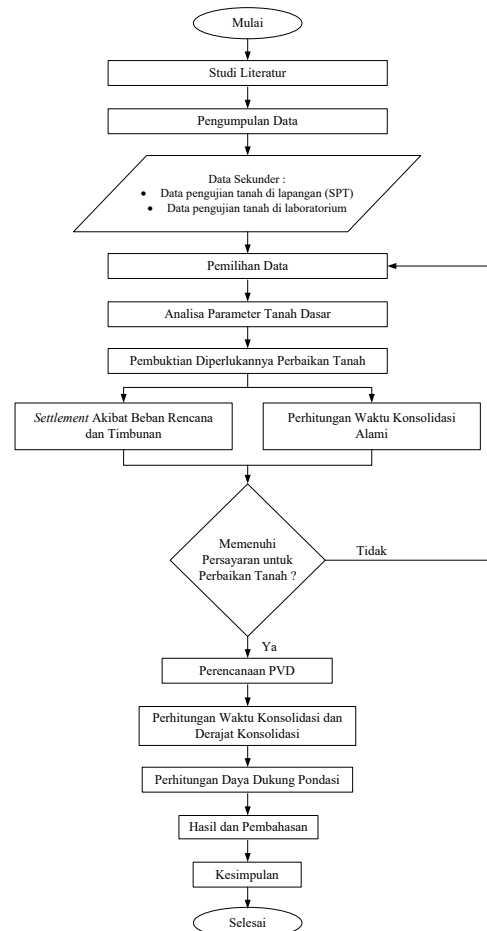
Bagan Diagram Alir

Penelitian ini dibuat dengan beberapa tahapan agar mencapai tujuan yang diharapkan. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Tanah Dasar

Dalam melakukan suatu penelitian dibutuhkan data yang akurat. Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengujian lapangan maupun pengujian laboratorium yang dilakukan PT. GWS Engineering sebagai konsultan perencana pada proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Sultan Thaha Provinsi Jambi dan muka air tanah berada di kedalaman 1,0 m.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Data yang diperoleh berupa resume hasil investigasi tanah, terdapat beberapa parameter tanah yang tidak ada, sehingga dilakukan :

1. Korelasi dari hasil N-SPT Untuk mengetahui taksiran berat volume jenuh (γ_{sat}) dengan menggunakan Tabel 2. Hasil korelasinya dapat dilihat pada Tabel 3 kolom 8 dan 9.

Tabel 2. Korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan *unconfined compressive strength* dan berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) untuk tanah kohesif

N-SPT (blows/ft)	Konsistensi	q_u (<i>Unconfined Compressive Strength</i>) (tons/ft ²)	γ_{sat} kN/m ³
<2	<i>Very Soft</i>	< 0,25	16 - 19
2 - 4	<i>Soft</i>	0,25 - 0,50	16 - 19
4 - 8	<i>Medium</i>	0,50 - 1,00	17 - 20
8 - 15	<i>Stiff</i>	1,00 - 2,00	19 - 22
15 - 30	<i>Very Stiff</i>	2,00 - 4,00	19 - 22
>30	<i>Hard</i>	> 4,00	19 - 22

2. Pendekatan nilai indeks pemampatan (C_c), koefisien konsolidasi vertikal (C_v), dan angka pori (e_o) yang tidak ada berdasarkan kesamaan konsistensi tanah yang berada pada zona yang sama atau berbeda. Pendekatan nilai C_c , C_v , e_o dapat dilihat pada lapisan 1 dan lapisan 4 pada Tabel 3.

Data Tanah Timbun

Spesifikasi teknis dari material timbunan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{sat}} &= 1,654 \text{ t/m}^3 \\ \gamma &= 1,654 \text{ t/m}^3 \\ G_s &= 2,67\end{aligned}$$

Tinggi tanah timbunan rata-rata dari tanah permukaan tanah dasar sebelum dilakukan

pengikisan (*stripping*) untuk mencapai elevasi bawah perkerasan Zona 2 = 1,6 m.

Data Pembebanan

Data pembebanan terdiri dari beban pesawat, beban perkerasan beban *sand blanket* dan beban tanah timbun.

1. Beban Pesawat

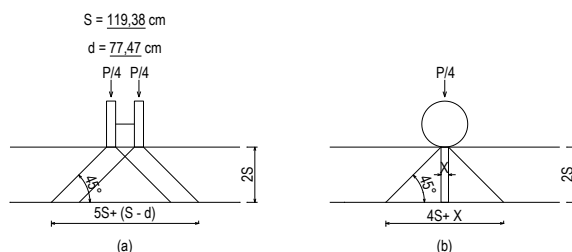
Beban pesawat digunakan sebesar 12,45 kN/m² yang diperoleh dari *maximum taxi weight* pesawat Boeing 737-900ER sebagai pesawat rencana dan *main gear pressure* (roda belakang) sebesar 15 kg/cm² (*Boeing Commercial Airplanes, 2013*).

$$\begin{aligned}\text{Lebar roda} &= 16,5 \text{ inci} = 41,91 \text{ cm} \\ \text{Jarak antar roda} &= 30,5 \text{ inci} = 77,47 \text{ cm} \\ W &= 85.366 \text{ kg}\end{aligned}$$

Tabel 3. Rekapitulasi Parameter Tanah

Lap.	Depth [m]	NSPT [-]	γ (kN/m ³)	C_c	e_o	C_v (cm ² /det)	Konsistensi	γ_{sat} (kN/m ³)
1	0 - 2	7	16,5	0,54	1,25	0,000321	Medium	17
2	2 - 4	2	16,8	0,54	1,25	0,000668	Very Soft	16
3	4 - 7,5	6 - 8	17,2	0,54	1,25	0,000321	Medium	17
4	7,5 - 13,5	8 - 18	17,2	0,51	1,06	0,001200	Stiff	19
5	14 - 40	20 - 56	19,5	-	-	-	Hard	19

Ilustrasi distribusi beban pesawat modifikasi dari Basuki (1985) dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Beban Pesawat (modifikasi dari Basuki, 1985)

(a). Ilustrasi Distribusi Beban Pesawat Tampak Depan dan (b). Distribusi Beban Pesawat Tampak Samping

2. Beban Perkerasan

Beban perkerasan sebesar 8,35 kN/m² sesuai dengan rekapitulasi beban perkerasan pada tabel 4.

3. Beban Sand Blanket

Untuk beban *sand blanket* = 12,8 kN/m², diperoleh dari :
Tebal *sand blanket* = 0,8 m dan $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$

Tabel 4. Rekapitulasi Beban Perkerasan

No.	Lapisan	H (m)	γ (kN/m ³)	q (kN/m ²)
1	Subbase	0,16	20	3,20
2	Base Course	0,13	21	2,73
3	Laston	0,06	22	1,32
4	Wearing Course	0,05	22	1,10
Total Beban				8,35

4. Beban Tanah Timbun

Beban tanah timbun pada masing-masing zona berbeda-beda yang disebabkan perbedaan elevasi tanah dasar. Pada area perpanjangan *runway* dilakukan *stripping* setebal 0,3 m untuk menghilangkan rumput-rumput liar dan akar-akar pepohonan. Rekapitulasi perhitungan beban tanah timbun dan rekapitulasi analisis beban rencana dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Analisis Beban Tanah Timbun

Tebal Timbunan Akibat Elevasi (m)	Tebal Timbunan Akibat Stripping (m)	Total Timbunan (m)	γ_{timbun} (kN/m ³)	P_{timbunan} (kN/m ²)
1,6	0,3	1,9	16,54	31,426

Data Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Spesifikasi PVD yang digunakan adalah :

1. Lebar PVD (a) = 10 cm
2. Tebal PVD (b) = 0,5 cm
3. Kuat tarik = 2,5 kN

Analisis Penurunan Konsolidasi Tanah Asli

Perhitungan penurunan konsolidasi tanah asli menggunakan teori konsolidasi satu dimensi yang diperkenalkan oleh Terzaghi (1943) dalam Das (1995). Perhitungan penurunan konsolidasi tanah asli tersiri dari :

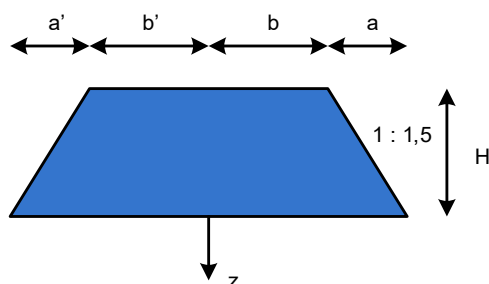
1. Perhitungan Tegangan Overburden Efektif (P_o)
Tegangan *overburden* efektif merupakan tegangan awal akibat beban lapisan tanah itu sendiri. Perhitungan tegangan *overburden* efektif dilakukan di tengah-tengah setiap lapisan yang berbeda, yaitu pada kedalaman 1,0 m; 2,0 m; 3,5 dan 3,0 m di bawah muka air tanah. Hasil rekapitulasi perhitungan tegangan *overburden* efektif ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Rekapitulasi Perhitungan Tegangan *Overburden* Efektif

Lap.	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	H (m)	P_o (kN/m ²)
1	17	7	1,00	3,500
2	16	6	2,00	9,500
3	17	7	3,50	21,750
4	19	9	3,00	35,250

2. Perhitungan Tegangan Akibat Beban Timbunan (Δp)

Pengaruh penambahan tegangan akibat beban timbunan dihitung di tiap lapisan yang berbeda, yaitu pada kedalaman 1,0 m; 3,0 m; 6,5 dan 8,0 m di bawah muka air tanah dengan perbandingan kemiringan 1:1,5.



Gambar 4. Pengaruh Beban Timbunan

Hasil rekap perhitungan tegangan akibat beban timbunan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Akibat Beban Timbunan

Lap.	I	q_o kN/m ²	Δ_p kN/m ²
1	1,570	47,926	47,914
2	1,568	47,926	47,834
3	1,557	47,926	47,492
4	1,561	47,926	47,640

3. Perhitungan Besar Penurunan (S_c)

Besar penurunan dihitung pada masing-masing lapisan dikarenakan tiap lapisan memiliki karakteristik tanah yang berbeda, yaitu pada kedalaman 1,0 m; 2,0 m; 3,5 dan 3,0 m di bawah muka air tanah. Tanah diasumsikan berada pada kondisi *normally consolidated* ($P_c = P_o$).

Hasil rekapitulasi perhitungan besar penurunan ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Rekapitulasi Perhitungan Besar Penurunan

Lap.	H (m)	P_o (t/m ²)	ΔP (t/m ²)	C_c	e_o	Δc (m)
1	1	3,500	47,914	0,540	1,250	0,280
2	2	9,500	47,834	0,540	1,250	0,375
3	3,5	21,750	47,492	0,540	1,250	0,422
4	3	35,250	47,640	0,510	1,060	0,276
Σ						1,353

4. Perhitungan Waktu Penurunan (t)

Setelah diperoleh besar penurunan yang terjadi, dilakukan perhitungan waktu penurunan. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui perlu tidaknya untuk mempercepat lamanya waktu penurunan. Dikarenakan tiap lapisan memiliki nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang berbeda, maka nilai C_v yang digunakan ialah nilai C_v gabungan. Untuk derajat konsolidasinya ialah 90 % dengan faktor waktu 0,848.

Dari hasil perhitungan penurunan dan waktu penurunan tanah asli, tanah akan terus mengalami penurunan hingga $t = 46,345$ tahun, sampai titik dimana tanah tersebut mampat (mencapai konsolidasi 90%). Dapat dinyatakan bahwa tanah pada area perpanjangan *runway* yang akan dibangun memerlukan perbaikan tanah agar konsolidasi tanah dapat dipercepat. *Prefabricated Vertical Drain Preloading (PVD)*

Analisis Perbaikan Tanah dengan PVD Preloading

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode PVD *Preloading* hampir sama dengan penurunan konsolidasi tanah asli, yang membedakan ialah adanya penambahan beban awal berupa tanah timbunan sebagai pengganti beban rencana. Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode PVD *Preloading* juga menggunakan teori konsolidasi satu dimensi yang diperkenalkan oleh Terzaghi (1943) dalam Das (1995).

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode PVD *Preloading* terdiri dari perhitungan tegangan *overburden* efektif, perhitungan tegangan akibat beban timbunan, perhitungan besar penurunan, dan perhitungan waktu penurunan.

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode PVD *Preloading* terdiri dari perhitungan tegangan *overburden* efektif, perhitungan tegangan akibat beban timbunan, perhitungan besar penurunan, dan perhitungan waktu penurunan.

1. Perhitungan Tegangan *Overburden* Efektif (P_o)
Hasil perhitungan tegangan *overburden* efektif yang ditambah dengan beban *preloading* sama dengan tegangan *overburden* efektif tanah asli, dikarenakan perhitungannya tidak berpengaruh sama sekali dengan penambahan beban *preloading*. Hasil rekapitulasi perhitungan tegangan *overburden* efektif dengan beban *preloading* yang ditunjukkan pada Tabel 6.
2. Perhitungan Tegangan Akibat Beban Timbunan (Δp)
Pengaruh penambahan tegangan akibat beban timbunan dihitung di tiap lapisan yang berbeda, yaitu pada kedalaman 1,0 m; 2,0 m; 3,5 dan 3,0 m di bawah muka air tanah. Perhitungan akibat beban timbunan yang ditambah beban *preloading* hampir sama dengan poin 4.3.2, yang membedakan ialah adanya penambahan beban *preloading* sebesar 33,603 kN/m² hasil penambahan dari beban pesawat, beban perkerasan dan beban *sand blanket*. Hasil rekapitulasi perhitungan tegangan akibat beban timbunan ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Akibat Beban Timbunan Pada PVD *Preloading*

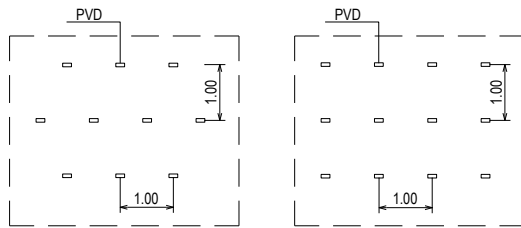
Lap.	I	q_o (kN/m ²)	Δp (kN/m ²)
1	1,570	81,528	81,507
2	1,567	81,528	81,372
3	1,555	81,528	80,790
4	1,560	81,528	81,041

3. Besar penurunan dihitung pada masing - masing lapisan dikarenakan tiap lapisan memiliki karakteristik tanah yang berbeda, yaitu pada kedalaman 1,0 m; 2,0 m; 3,5 m; dan 3,0 m di bawah muka air tanah. Tanah di asumsikan berada pada kondisi *normally consolidated* ($P_c = P_o$). Hasil rekap perhitungan besar penurunan yang ditambah beban *preloading* ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Rekap Perhitungan Besar Penurunan Pada PVD *Preloading*

Lap.	H (m)	P_o (t/m ²)	ΔP (t/m ²)	C_c	e_o	S_c (m)
1	1	3,500	81,507	0,540	1,250	0,332
2	2	9,500	81,372	0,540	1,250	0,471
3	3,5	21,750	80,790	0,540	1,250	0,566
4	3	35,250	81,041	0,510	1,060	0,385
Σ						1,754

4. Perhitungan Waktu Penurunan (t)
Hasil perhitungan waktu penurunan yang ditambah dengan beban *preloading* sama dengan perhitungan waktu penurunan tanah asli. Perhitungannya tidak berpengaruh sama sekali dengan penambahan beban *preloading*, karena yang mempengaruhi lamanya waktu penurunan ialah nilai koefisien konsolidasi (C_v) tanah asli. Dari hasil perhitungan tersebut, penurunan tanah pada zona 2 memerlukan waktu selama 46,345 tahun untuk mencapai derajat konsolidasi (U) 90%. Waktu tersebut merupakan waktu yang sangat lama untuk menunggu proses penurunan konsolidasi secara alami, mengingat proyek perpanjangan *runway* ini tidak bisa menunggu waktu selama itu. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk mempercepat proses penurunan konsolidasi pada proyek perpanjangan *runway* tersebut, yaitu mengkombinasikan *preloading* dengan PVD.
5. Perhitungan Penurunan Konsolidasi Dengan PVD *Preloading*
Perhitungan penurunan konsolidasi dengan PVD *Preloading* dapat menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Hansbo (1981). Variasi yang dilakukan dalam menganalisis perbaikan tanah dengan PVD *Preloading*, pola pemasangan yakni segitiga dan segiempat dan jarak pemasangan PVD 1 m, 1,2 m dan 1,4 m dengan panjang PVD (L) = 9,5 m.

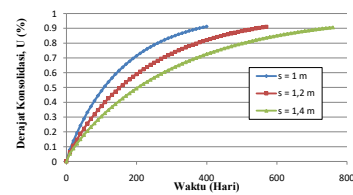


Gambar 5. Pola Pemasangan PVD

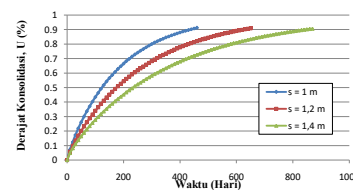
- (a). Pola Segitiga dengan Jarak Pemasangan (s) = 1,0 m
 (b). Pola Segiempat dengan Jarak Pemasangan (s) = 1,0 m
- Rekapitulasi hasil analisis perbaikan tanah dengan PVD *Preloading* untuk derajat 90% dapat dilihat Tabel 11 dan Tabel 12 serta pada gambar 6 dan gambar 7.

Daya Dukung Pondasi

Analisis daya dukung pondasi yang dilakukan terhadap tanah dasar permukaan dengan kedalaman = 0 m. Hasil analisis daya dukung pondasi tanah dasar permukaan sebelum dan setelah dilakukan perbaikan tanah dengan PVD *Preloading* dapat dilihat pada Tabel 13.



Gambar 6. Hubungan Antara Derajat Konsolidasi dengan Waktu Konsolidasi Pola Segitiga



Gambar 7. Hubungan Antara Derajat Konsolidasi dengan Waktu Konsolidasi Pola Segiempat

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Analisis Perbaikan Tanah dengan PVD *Preloading* Pola Segitiga Untuk Derajat Konsolidasi 90%

s (m)	t (tahun)	t (hari)	U _v (%)	1-U _v	Th	U _h (%)	1-U _h	U (%)	Sc (m)
1,0	1,03	376,42	0,16	0,84	3,09	0,88	0,12	0,90	1,42
1,2	1,49	542,50	0,19	0,81	3,09	0,88	0,12	0,90	1,42
1,4	2,01	733,33	0,22	0,78	3,07	0,87	0,13	0,90	1,42

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Analisis Perbaikan Tanah Dengan PVD *Preloading* Pola Segiempat Untuk Derajat Konsolidasi 90%

S (m)	t (tahun)	t (hari)	U _v (%)	1-U _v	Th	U _h (%)	1-U _h	U (%)	Sc (m)
1,0	1,19	436,00	0,17	0,83	3,09	0,88	0,12	0,90	1,42
1,2	1,72	626,90	0,20	0,80	3,09	0,88	0,12	0,90	1,42
1,4	2,32	846,00	0,23	0,77	3,06	0,87	0,13	0,90	1,42

Tabel 13. Rekapitulasi daya dukung pondasi tanah permukaan

Uraian	q _u (kN/m ²)	q _n (kN/m ²)	SF	Keterangan
Sebelum	239,4	59,2	4,0	Terpenuhi
Setelah	306,2	59,2	5,2	Terpenuhi

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perbaikan tanah dengan PVD *Preloading* yang memperhitungkan efek *smear*, diperoleh peningkatan daya dukung tanah dasar permukaan sebesar

312,8 kN/m². Waktu konsolidasi setelah dilakukan perbaikan tanah juga lebih singkat pada saat derajat konsolidasi 90% dibandingkan dengan sebelum dilakukan perbaikan tanah yaitu dengan waktu tersingkat sebesar 1,03 tahun dan yang terlama 2,32 tahun. Dari seluruh variasi penelitian yang dilakukan, diperoleh pola pemasangan segitiga dengan jarak pemasangan PVD sebesar 1,0 m menjadi variasi yang efektif karena menghasilkan waktu konsolidasi yang tersingkat yakni 1,03 tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, B.M., 2007, Principles Of Foundation Engineering Sixth Edition, U.S.A, Chris Carson.
- [2] Dofran, W, 2017, Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan *Pefabricated Vertical Drain* Dengan Variasi Kedalaman dan Perkuatan Lereng Dengan Turap Studi Kasus : Lapangan Penumpukan Peti Kemas, Pelabuhan Trisakti, Banjarmasin, Kalimantan Selatan. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [3] Hardiatmo, H.C., 2013, *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya Perancangan dan Aplikasi*, Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- [4] Puspanda Okpatiasari, Lydia Tiara, Sri Prabandiyani R.W, dan Siti Hardiyati, 2018, Analisis Geoteknik Pada *Taxiway* Di Proyek Pengembangan Bandara Ahmad Yani Semarang, Jurnal Karya Teknik Sipil, Volume 1.
- [5] Rujikiatkamjorn, C. dan Indraratna, B., 2007, Analytical Solutions and Design Curves For Vacuumassisted Consolidation With Both Vertical and Horizontal Drainage, *Canadian Geotechnical Journal*, 44.