

# Analisis Perbaikan Tanah Dasar pada Konstruksi *Runway* Pesawat dengan Metode *Preloading*

Dicky Nurfauzi Ismail<sup>1\*</sup>, Rini Trisno Lestari<sup>1</sup>, dan Paksitya Purnama Putra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jawa Timur

**Abstrak.** Salah satu aspek terpenting pada pembangunan bandara yaitu infrastruktur landasan pacunya (*runway*), perencanaan konstruksi *runway* yang baik dan aman diperlukan analisis terhadap kondisi tanah yang akan menahan semua beban seperti beban pesawat dan beban perkerasan *runway* sendiri. Penurunan atau konsolidasi tanah adalah masalah geoteknik yang sering terjadi pada tanah lunak. Salah satu metode perbaikan tanah lunak yaitu dengan metode *preloading*. Penelitian ini menggunakan metode *preloading* dengan permisalan beban yaitu 3 ton/m<sup>2</sup> didapat besar penurunan 0,827 meter, 5 ton/m<sup>2</sup> penurunannya 1,288 meter, 7 ton/m<sup>2</sup> penurunannya 1,63 meter, 9 ton/m<sup>2</sup> penurunannya 1,902 meter, 11 ton/m<sup>2</sup> penurunannya 2,127 meter, kemudian berdasarkan rencana tinggi timbunan 3 meter maka didapat tinggi inisial timbunannya sebesar 4, 401 meter dari hasil ini maka besar perhitungan penurunan yang dihasilkan dari metode *preloading* dengan perencanaan tinggi timbunan 3 meter yaitu sebesar 1,468 meter dengan waktu penurunannya untuk konsolidasi 90% yaitu selama 6,24 tahun.

**Kata kunci:** Perbaikan Tanah Dasar, *Preloading*, Konsolidasi, *Runway*.

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan bandara salah satu aspek terpenting yaitu pada infrastruktur landasan pacunya (*runway*) yang merupakan tempat untuk pesawat terbang dapat *take off* dan mendarat dengan aman. Perencanaan konstruksi *runway* yang baik diperlukan analisis terhadap kondisi tanah yang akan menahan semua beban seperti beban pesawat dan beban perkerasan *runway* sendiri [1].

Pembangunan infrastruktur seperti landasan pacu (*runway*) pesawat terbang sering menimbulkan masalah-masalah yang diakibatkan oleh kondisi tanah. Permasalahan geoteknik utama dalam pembangunan infrastruktur transportasi pada tanah lempung lunak (*soft clay*) adalah daya dukung tanah dasarnya yang relatif rendah, serta penurunan atau konsolidasi tanah yang sering terjadi pada kasus timbunan, terutama pada tanah lunak., sehingga perlu perbaikan agar tanah dasar dapat dipakai dengan baik sebagai pendukung konstruksi yang ada di atasnya yaitu dengan stabilisasi tanah [2].

Penelitian ini menggunakan jenis perbaikan tanah dasar yaitu dengan *Preloading*. Perbaikan tanah dengan metode *Preloading* yaitu pemberian beban statis secara langsung di atas lapisan tanah yang akan dibangun konstruksi di atasnya. Metode konsolidasi ini atau *Preloading* memerlukan waktu yang lama untuk mendapatkan tanah yang terkonsolidasi secara sempurna, maka dari itu metode konsolidasi ini memerlukan kombinasi untuk percepatannya yaitu dengan metode pemberian beban yang lebih bervariasi dimana penggunaannya merupakan upaya meningkatkan daya dukung tanah melalui proses konsolidasi tanah [3].

Maksud dari penulisan penelitian ini adalah perbaikan tanah dasar dengan menggunakan metode *preloading* pada perencanaan landasan pacu (*runway*) pesawat terbang, sedangkan tujuan dari penulisan penelitian ini untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam perbaikan tanah dasar dengan metode *preloading* dan mengetahui besarnya nilai penurunan pada tanah dasar dengan metode *preloading*.

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan penelitian ini yaitu yang ditulis oleh Ana Crosita Ningsih, 2018 dengan judul perencanaan perbaikan tanah lunak menggunakan metode *preloading* dan *prefabricated*

\* Corresponding author: [dickynurfauzi76@gmail.com](mailto:dickynurfauzi76@gmail.com)

*vertical drain* (PVD), dimana penelitian ini menghasilkan waktu yang dibutuhkan untuk pemampatan sebesar 1,9298 dan mencapai derajat konsolidasi 95% adalah 139,41 tahun apabila tidak menggunakan PVD [9].

Penelitian selanjutnya yaitu yang ditulis oleh Zahra Febrina Lilabsari, 2018. Dengan judul Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrumen Geoteknik Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda Dan Btari Dengan Penggunaan *Preloading* Dan *Prefabricated Vertical Drain*, dengan hasil penelitiannya yaitu dari teori pendekatan Asaoka diketahui besar prediksi penurunan akhir adalah sebesar 1457,69 mm, 2694,3 mm, 2495,18 mm, 1533,89 mm dan 2774,35 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan masih terus berjalan mengingat konsolidasi rata-rata masih dibawah 90%. Derajat konsolidasi Settlement Plate yang lebih besar terjadi karena adanya air pori yang terjebak (belum keluar), sehingga Settlement Plate tidak turun [10].

Penelitian selanjutnya yaitu ditulis oleh Rudianto Surbakti, 2021, dengan judul Prediksi Penurunan Konsolidasi Tanah Lunak Dengan Metode Analitis Dan Metode Element Hingga, dengan hasil penelitiannya yaitu pemodelan plaxis 3D memberikan hasil yang lebih mendekati penurunan hasil observasi di lapangan dibandingkan dengan pemodelan hasil perhitungan plaxis 2D [2].

## 2. METODE

Penelitian ini yaitu menggunakan pendekatan analisis kuantitatif. Perencanaan perbaikan tanah pada penelitian ini yaitu menggunakan metode *preloading*, pemilihan metode ini dikarenakan yaitu kemudahan dalam kebutuhan material yang digunakan pada lokasi penelitian ini.

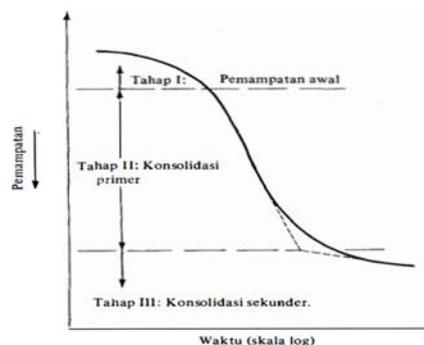
Pembebanan awal (*Preloading*) merupakan salah satu metode perbaikan tanah, yaitu dengan pemberian pembebanan awal yang sifatnya sementara pada tanah yang akan dibangun bangunan struktur di atasnya. Secara umum pembebanan awal ini dilakukan pada tanah lunak, mudah mampat, dan tebal. Pemberian beban ini dilakukan hingga proses konsolidasi yang diinginkan tercapai, yaitu tercapainya penurunan primer (*primary settlement*).

Suatu lapisan tanah mengalami penambahan beban di atasnya, maka seiring bertambahnya waktu air pori dalam tanah akan keluar dari rongga-rongga tanah tersebut dan volume total tanah akan menjadi berkurang. Secara umum konsolidasi primer ini berlangsung satu arah yaitu ke arah vertikal, hal ini karena lapisan tanah yang diberikan pembebanan di atasnya tidak bergerak ke arah horizontal [10]

Beban *preloading* yang diberikan secara bertahap ditentukan berdasarkan besar pemampatan tanah dasar yang akan dihilangkan. Maksud dari pemberian beban awal ini yaitu untuk menghilangkan atau mereduksi penurunan konsolidasi primer, sebelum pelaksanaan pembangunan struktur di atasnya. Kelebihan dari pemberian pembebanan awal selain mengurangi penurunan pada tanah juga dapat memperkuat gaya geser tanah itu sendiri, tanah yang diberikan pembebanan awal juga menjadi lebih solid dan padat sehingga memperkecil terjadinya masalah penurunan tanah pada saat struktur bangunan di atasnya sudah dibangun [6].

### a. Konsolidasi Tanah

Konsolidasi merupakan proses berkurangnya volume atau rongga air pori dari tanah jenuh yang memiliki permeabilitas rendah akibat pembebanan yang terjadi pada tanah. Proses konsolidasi terdapat tiga tahapan yaitu pemampatan awal, konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder, dapat dilihat pada gambar 1 ini [4].



Gambar 1. Grafik hubungan antara penurunan dan Log waktu Konsolidasi [4]

## b. Penurunan Tanah (*Settlement*)

Penurunan tanah (*settlement*) adalah suatu peristiwa berubahnya susunan tanah dan berkurangnya rongga pori atau air dalam tanah akibat adanya regangan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan yang diberikan terhadap tanah tersebut. Penurunan tanah dibagi menjadi dua yaitu:

### 1) Penurunan Segera (*Immediate Settlement-S<sub>i</sub>*)

Penurunan segera merupakan penurunan yang biasa terjadi pada tanah dengan butiran kasar dan halus atau tidak jenuh, penurunan ini terjadi dengan segera setelah beban bekerja pada tanah

### 2) Penurunan Konsolidasi Primer (*Consolidation Settlement-S<sub>c</sub>*)

Penurunan konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan rongga pori tanah akibat adanya tambahan tekanan yang terjadi pada tanah tersebut. Perhitungan penurunan konsolidasi primer menurut, Braja M. Das mempunyai beberapa perumusan sesuai dengan kondisi tanah, yaitu untuk tanah yang terkonsolidasi secara normal (*Normally Consolidation*) dan tanah yang terkonsolidasi berlebih (*Over Consolidation*) [4].

- Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC – *Soil*)

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left( \frac{p_0 + \Delta p}{p_n} \right) \quad (1)$$

- Untuk tanah terkonsolidasi berlebih (OC – *Soil*)

$$\text{Bila } (P_0' > \Delta p') \leq P_0'$$

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left( \frac{p_0 + \Delta p}{p_n} \right) \quad (2)$$

- Bila  $(P_0' > \Delta p') > P_c'$

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} \log \frac{p_c}{p_n} + \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left( \frac{p_0 + \Delta p}{p_r} \right) \quad (3)$$

### 3) Penurunan Konsolidasi Sekunder (*Secondary Settlement-S<sub>s</sub>*)

Penurunan konsolidasi sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi primer berhenti. Penurunan ini terjadi akibat setelah tegangan air pori yang berlebih hilang sepenuhnya,

## c. Parameter Tanah untuk Perhitungan Konsolidasi

Perhitungan konsolidasi membutuhkan beberapa parameter tanah, berikut adalah parameter-parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*) [5]:

### 1) Tebal lapisan compressible

Tebal lapisan compressible (H) merupakan jenis tanah yang masih dapat mengalami penurunan konsolidasi primer yaitu memiliki nilai N-SPT kurang dari 10.

### 2) Beban atau surcharge

Beban atau surcharge yang dimaksud yaitu besarnya beban yang bekerja di atas permukaan tanah asli (compressible soil) dalam satuan tegangan. Persamaan untuk perhitungan tegangan tanah dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$P_0 = Y_{\text{tanah}} \times H \quad (4)$$

Dimana:

$Y_{\text{tanah}}$  = Berat volume tanah (t/m<sup>3</sup>)

H = Tebal lapisan tanah

### 3) Distribusi tegangan tanah ( $\Delta p$ )

Distribusi tegangan tanah ( $\Delta p$ ) merupakan kondisi dimana semakin dalam lapisan tanah maka pengaruh  $\Delta p$  yang diterima semakin kecil. Persamaan untuk perhitungan distribusi tegangan tanah dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\Delta p = I \times q_0 \quad (5)$$

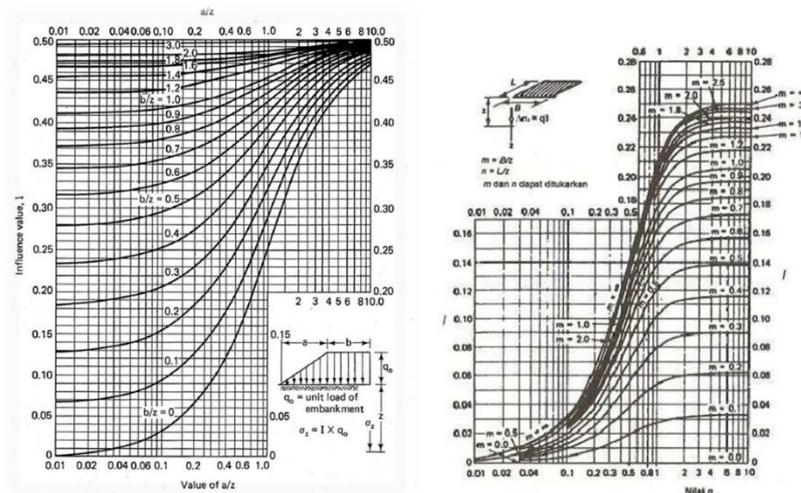
Dimana:

$I$  = Faktor pengaruh

$q_0$  = Beban terbagi rata (t/m<sup>2</sup>)

#### 4) Koefisien pengaruh ( $I$ )

Besarnya nilai koefisien pengaruh ( $I$ ) untuk perhitungan tegangan vertikal ( $\Delta p$ ) yang diterima suatu titik tinjau tertentu yang dipengaruhi oleh karakteristik geometrik, bentuk timbunan reklamasi serta kedalaman titik tinjau. Gambar grafik untuk koefisien pengaruh dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini: [9]



Gambar 2. Gambar grafik untuk menentukan faktor pengaruh pada beban trapesium dan terbagi rata (persegi) [9]

#### 5) Compressible dan swelling index

Harga compression index ( $C_c$ ) dan swelling index ( $C_s$ ) merupakan nilai yang diperoleh dari hasil uji tes laboratorium (consolidation test).

#### 6) Angka pori (initial void ratio)

Angka pori awal ( $e_0$ ) merupakan nilai yang di dapat dari hasil uji tes laboratorium (volumetric dan gravimetric).

#### 7) Tegangan overburden efektif ( $P_o'$ )

Tegangan vertikal efektif dari tanah asli dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_o' = \gamma' \times h \quad (6)$$

Dimana:

$\gamma' = (\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w)$  bila terendam air

$h$  = setengah dari lapisan tanah yang diperhitungkan

#### d. Waktu Penurunan Konsolidasi

Waktu penurunan konsolidasi merupakan hal yang paling penting dalam memprediksi penurunan konsolidasi pada tanah. Banyak hal yang mempengaruhi waktu penurunan konsolidasi salah satunya yaitu seperti Panjang lintasan yang dilalui air untuk keluar dari pori tanah. Pada umumnya air bergerak keluar pada arah vertikal, karena permeabilitas tanah lempung kecil sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama. Lama waktu konsolidasi dapat dilihat pada persamaan berikut [5]:

$$t = \frac{T_v (H_{dr})^2}{C_v} \quad (7)$$

dimana:

$t$  = waktu konsolidasi

$T_v$  = Faktor waktu konsolidasi

$H_{dr}$  = Panjang aliran air

$C_v$  = koefisien konsolidasi vertikal

#### e. Parameter Waktu Penurunan Konsolidasi

Dalam perhitungan waktu konsolidasi terdapat beberapa parameter yang dijelaskan sebagai berikut:

##### 1) Faktor waktu ( $T_v$ )

Faktor waktu ( $T_v$ ) merupakan fungsi dari derajat konsolidasi ( $U\%$ ) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori di dalam tanah. Hubungan antara  $T_v$  dan  $U$  pada tegangan air pori yang homogen dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Derajat konsolidasi dan faktor waktu

Derajat Konsolidasi	Faktor Waktu ( $T_v$ )
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	$\infty$

##### 2) Panjang aliran drainage

Tebal lapisan tanah (*compressible soil*) dengan notasi  $H$ , maka Panjang aliran drainage adalah  $H_{dr}$ , dimana:

$H_{dr} = \frac{1}{2} H$ , jika arah aliran air selama proses konsolidasi adalah 2 arah

$H_{dr} = H$ , jika arah aliran air selama proses konsolidasi hanya satu arah

##### 3) Koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ )

Koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ) merupakan parameter yang menentukan kecepatan proses pengaliran air selama proses konsolidasi. Pada umumnya proses konsolidasi hanya berlangsung satu arah (vertikal). Harga dari nilai  $C_v$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$C_v = \frac{T_v \times H^2}{t} \quad (8)$$

Jika pada suatu lapisan tanah yang homogen terdapat beberapa nilai  $C_v$  maka harga  $C_v$  rata – rata dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_v \text{ rata – rata} = \frac{H}{\frac{H_1}{C_{v1}} + \frac{H_1}{C_{v1}} + \dots + \frac{H_1}{C_{v1}}} \quad (9)$$

Dimana:

$C_v$  = Koefisien konsolidasi ( $m^2/tahun$ )

$H$  = Tebal lapisan compressible ( $m$ )

$T_v$  = Faktor waktu dari derajat konsolidasi ( $U$ )

$t$  = Waktu untuk mencapai derajat konsolidasi  $U\%$  ( $tahun$ )

$C_{vi}$  = Koefisien konsolidasi vertikal lapisan ke -i

$H_i$  = Tebal lapisan compressible ke -i

### 3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### a. Data Penelitian

Terdapat dua data yang digunakan, antara lain data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan merupakan data foto – foto proyek yang ditinjau langsung di lapangan dan juga wawancara. Sedangkan untuk data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah data tanah yang mewakili kondisi lahan di sekitar proyek dimana dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Parameter data tanah dasar

Laboratoy Test Resume								
No. Sample			STA 1 + 680					
Depth			1	2	3	4	5	
Index Properties		Symbol	Unit					
1	Density	$\gamma$	Kn/m <sup>3</sup>	18	18	18	18	20
2	Water content	$\omega$	%	70	70	70	70	70
	Saturation density	$\gamma_{sat}$	Kn/m <sup>3</sup>	18,8	18,8	18,8	18,8	21
	Dry density	$\gamma_d$	Kn/m <sup>3</sup>	17	17	17	17	17
	Void ratio	$e$	-	1,9	1,9	1,9	1,9	0,51
	Porosity	$n$	-	66	66	66	66	66
3	Relative density	$D_r$	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
4	Cohesion undrain	$C_u$	ton/m <sup>3</sup>	3	3	3,6	3,6	18
5	Compression Index	$C_c$	kg/cm <sup>2</sup>	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
6	Coeficient consolidation	$C_v$	m <sup>2</sup> /Tahun	10	10	10	10	10
7	Angggle of friction	$\phi_{ef}$	(°)	28,02	28,02	28,02	28,02	28,02

Perencanaan pembebanan pada jalan yang dijadikan sebagai studi kasus mengacu kepada peraturan direktur jendral perhubungan udara tentang standar teknis dan operasi peraturan keselamatan penerbangan sipil – bagian 139. Penentuan lebar minimum landasan pacu (*runway*) pesawat terbang dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini [7]:

Tabel 3. Lebar Minimum *Runway*

Code Number	Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
1	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

Catatan:

Jika sebuah *Code Number precision approach runway* adalah 1 atau 2, maka lebar landas pacu (*runway*) tidak boleh kurang dari 30 m.

Tabel 4. Jenis dan Karakteristik Pesawat Udara

Jenis Pesawat	REF CODE	KARAKTERISTIK PESAWAT UDARA					
		ARFL (m)	Lebar Sayap (m)	OMGWS (m)	Panjang (m)	MTOW (Kg)	TP (Kpa)
Boeing B737-300	4C	1940	28,9	6,4	33,4	61230	1344
Boeing B737-400	4C	2540	28,9	6,4	36,5	63083	1400
Boeing B737-500	4C	1830	28,9	5,2	31	60560	
Boeing B737-600	4C	1750	34,3	5,72	31,2	65090	
Boeing B737-700	4C	1600	34,3	5,72	33,6	70143	
Boeing B737-800	4C	2256	34,3	6,4	39,5	70535	1470
Boeing B737-900	4C	2240	34,3	7	42,1	66000	14702

Penelitian ini direncanakan jenis dan karakteristik pesawat yang digunakan sebagai acuan dalam merencanakan landasan pacu (*runway*) berdasarkan tabel 3 dan 4 sebagai berikut:

Jenis pesawat : Boeing 737 – 500

REF Code : 4C

ARFL : 1830 m (Aeroplan Reference Field Length)

MTOW : 60560 kg (Maximum Take Off Weight)

### b. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan teknik analisis data kuantitatif, yang mana data didapat berbentuk angka data tanah. Proses pengolahan data penelitian mencakup data tanah, dan data pembebanan rencana *runway*, yang kemudian data tersebut diolah sehingga mendapatkan parameter data tanah yang dibutuhkan dalam perencanaan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

### c. Perhitungan Preloading

Perhitungan *preloading* dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu:

#### 1) Menghitung penurunan (*settlement*) akibat beban timbunan

Beban rencana yang dipakai pada penelitian ini yaitu diantaranya 3 ton/m<sup>2</sup>, 5 ton/m<sup>2</sup>, 7 ton/m<sup>2</sup>, 9 ton/m<sup>2</sup>, 11 ton/m<sup>2</sup>.

Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban rencana 3 ton/m<sup>2</sup>

q	=	3	t/m <sup>2</sup>
H timbunan	=	1,67	m
Rasio Miring	=	1:1	-
a	=	1,67	m

kedalaman	Tebal Lapisan (Hi)	Cc	Cs	e0	Akibat Beban Timbunan					γ (t/m <sup>3</sup> )	γ air (t/m <sup>3</sup> )	Po (t/m <sup>2</sup> )	Pc (t/m <sup>2</sup> )	ΔP (t/m <sup>2</sup> )	ΔP + Po (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Sc (m) Cumulativ e	
					z	a =	1,67	b =	22,5									I
					(m)	a/z	b/z											
1	1	1,78	0,356	1,9	0,5	3,33	45	0,5	1,8	1	1,8	2,8	3	4,8	0,167	0,167		
2	1	1,78	0,356	1,9	1,5	1,11	15	0,5	1,8	1	1,8	2,8	3	4,8	0,167	0,334		
3	1	1,78	0,356	1,9	2,5	0,67	9	0,5	1,8	1	1,8	2,8	3	4,8	0,167	0,502		
4	1	1,78	0,356	1,9	3,5	0,48	6,43	0,5	1,8	1	1,8	2,8	3	4,8	0,167	0,669		
5	1	1,78	0,356	1,9	4,5	0,37	5	0,5	2	1	2	3	3	5	0,158	0,827		

Berdasarkan tabel 5 di atas dapat dilihat hasil rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban timbunan rencana sebesar 3 ton/m<sup>2</sup>. menghasilkan penurunan sebesar 0,167 meter per lapisan tanahnya dengan komulatif penurunannya sebesar 0,827 meter yang dapat dilihat pada tabel di atas.

Tabel 6. Rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban rencana 5 ton/m<sup>2</sup>

q	=	5	t/m <sup>2</sup>
H timbunan	=	2,78	m
Rasio Miring	=	1:1	-
a	=	2,78	m

kedalaman	Tebal Lapisan (Hi)	Cc	Cs	e0	Akibat Beban Timbunan				Y (t/m <sup>3</sup> )	y air (t/m <sup>3</sup> )	Po (t/m <sup>2</sup> )	Pc (t/m <sup>2</sup> )	ΔP (t/m <sup>2</sup> )	ΔP + Po (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Sc (m) Cumulativ e		
					z (m)	a =	2,78	b =									22,5	I
						a/z		b/z										
1	1	1,78	0,356	1,9	0,5		5,56	45	0,5	1,8	1	1,8	2,8	5	6,8	0,260	0,260	
2	1	1,78	0,356	1,9	1,5		1,85	15	0,5	1,8	1	1,8	2,8	5	6,8	0,260	0,520	
3	1	1,78	0,356	1,9	2,5		1,11	9	0,5	1,8	1	1,8	2,8	5	6,8	0,260	0,780	
4	1	1,78	0,356	1,9	3,5		0,79	6,43	0,5	1,8	1	1,8	2,8	5	6,8	0,260	1,040	
5	1	1,78	0,356	1,9	4,5		0,62	5	0,5	2	1	2	3	5	7	0,247	1,288	

Berdasarkan tabel 6 di atas dapat dilihat hasil rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban timbunan rencana sebesar 5 ton/m<sup>2</sup> sehingga menghasilkan penurunan sebesar 0,26 meter per lapisan tanahnya dengan komulatif penurunannya sebesar 1,288 meter yang dapat dilihat pada tabel di atas.

Tabel 7. Rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban rencana 7 ton/m<sup>2</sup>

q	=	7	t/m <sup>2</sup>
H timbunan	=	3,89	m
Rasio Miring	=	1:1	-
a	=	3,89	m

kedalaman	Tebal Lapisan (Hi)	Cc	Cs	e0	Akibat Beban Timbunan				Y (t/m <sup>3</sup> )	y air (t/m <sup>3</sup> )	Po (t/m <sup>2</sup> )	Pc (t/m <sup>2</sup> )	ΔP (t/m <sup>2</sup> )	ΔP + Po (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Sc (m) Cumulativ e		
					z (m)	a =	3,89	b =									22,5	I
						a/z		b/z										
1	1	1,78	0,356	1,9	0,5		7,78	45	0,5	1,8	1	1,8	2,8	7	8,8	0,329	0,329	
2	1	1,78	0,356	1,9	1,5		2,59	15	0,5	1,8	1	1,8	2,8	7	8,8	0,329	0,658	
3	1	1,78	0,356	1,9	2,5		1,56	9	0,5	1,8	1	1,8	2,8	7	8,8	0,329	0,986	
4	1	1,78	0,356	1,9	3,5		1,11	6,43	0,5	1,8	1	1,8	2,8	7	8,8	0,329	1,315	
5	1	1,78	0,356	1,9	4,5		0,86	5	0,5	2	1	2	3	7	9	0,314	1,630	

Berdasarkan tabel 7 di atas dapat dilihat hasil rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban timbunan rencana sebesar 7 ton/m<sup>2</sup> sehingga menghasilkan penurunan sebesar 0,329 meter per lapisan tanahnya dengan komulatif penurunannya sebesar 1,630 meter yang dapat dilihat pada tabel di atas.

Tabel 8. Rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban rencana 9 ton/m<sup>2</sup>

q	=	9	t/m <sup>2</sup>
H timbunan	=	5,00	m
Rasio Miring	=	1:1	-
a	=	5,00	m

kedalaman	Tebal Lapisan (Hi)	Cc	Cs	e0	Akibat Beban Timbunan				Y (t/m <sup>3</sup> )	y air (t/m <sup>3</sup> )	Po (t/m <sup>2</sup> )	Pc (t/m <sup>2</sup> )	ΔP (t/m <sup>2</sup> )	ΔP + Po (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Sc (m) Cumulativ e		
					z (m)	a =	5,00	b =									22,5	I
						a/z		b/z										
1	1	1,78	0,356	1,9	0,5		10,00	45	0,5	1,8	1	1,8	2,8	9	10,8	0,383	0,383	
2	1	1,78	0,356	1,9	1,5		3,33	15	0,5	1,8	1	1,8	2,8	9	10,8	0,383	0,767	
3	1	1,78	0,356	1,9	2,5		2,00	9	0,5	1,8	1	1,8	2,8	9	10,8	0,383	1,150	
4	1	1,78	0,356	1,9	3,5		1,43	6,43	0,5	1,8	1	1,8	2,8	9	10,8	0,383	1,534	
5	1	1,78	0,356	1,9	4,5		1,11	5	0,5	2	1	2	3	9	11	0,368	1,902	

Berdasarkan tabel 8 di atas dapat dilihat hasil rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban timbunan rencana sebesar 9 ton/m<sup>2</sup> sehingga menghasilkan penurunan sebesar 0,383 meter per lapisan tanahnya dengan komulatif penurunannya sebesar 1,902 meter yang dapat dilihat pada tabel di atas.

Tabel 9. Rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban rencana 11 ton/m<sup>2</sup>

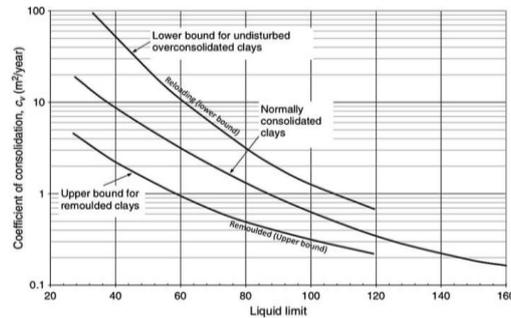
q	=	11	t/m <sup>2</sup>
H timbunan	=	6,11	m
Rasio Miring	=	1:1	-
a	=	6,11	m

kedalaman	Tebal Lapisan (Hi)	Cc	Cs	e0	Akibat Beban Timbunan				Y (t/m <sup>3</sup> )	y air (t/m <sup>3</sup> )	Po (t/m <sup>2</sup> )	Pc (t/m <sup>2</sup> )	ΔP (t/m <sup>2</sup> )	ΔP + Po (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	Sc (m) Cumulativ e		
					z (m)	a =	6,11	b =									22,5	I
						a/z		b/z										
1	1	1,78	0,356	1,9	0,5		12,22	45	0,5	1,8	1	1,8	2,8	11	12,8	0,429	0,429	
2	1	1,78	0,356	1,9	1,5		4,07	15	0,5	1,8	1	1,8	2,8	11	12,8	0,429	0,857	
3	1	1,78	0,356	1,9	2,5		2,44	9	0,5	1,8	1	1,8	2,8	11	12,8	0,429	1,286	
4	1	1,78	0,356	1,9	3,5		1,75	6,43	0,5	1,8	1	1,8	2,8	11	12,8	0,429	1,715	
5	1	1,78	0,356	1,9	4,5		1,36	5	0,5	2	1	2	3	11	13	0,412	2,127	

Berdasarkan tabel 9 di atas dapat dilihat hasil rekapitulasi perhitungan preloading dengan beban timbunan rencana sebesar 11 ton/m<sup>2</sup> sehingga menghasilkan penurunan sebesar 0,429 meter per lapisan tanahnya dengan komulatif penurunannya sebesar 2,127 meter yang dapat dilihat pada tabel di atas.

## 2) Perhitungan waktu konsolidasi

Untuk menghitung waktu konsolidasi berdasarkan persamaan 7 dibutuhkan nilai  $c_v$  yang didapat dari hasil korelasi dengan gambar berikut:



Gambar 4. Grafik hubungan nilai  $C_v$  dengan nilai LL [8]

Korelasi pada gambar 4 di atas diambil nilai liquid limit sebesar 60 kemudian ditarik garis ke arah garis *overconsolidated clay* sesuai dengan jenis tanah pada lokasi penelitian sehingga diketahui harga nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) yaitu sebesar 10 m<sup>2</sup>/tahun.

Berdasarkan persamaan 7 maka dapat diketahui waktu untuk mencapai konsolidasi dengan derajat konsolidasi 90% yaitu sebesar 6,24 tahun.

## 3) Perhitungan penurunan (settlement) akibat beban lalu lintas

Perhitungan settlement akibat beban pavement dan lalu lintas dihitung berdasarkan perhitungan settlement akibat beban timbunan di atas namun berbeda dengan nilai  $q$  rencana dan pada faktor pengaruh pada distribusi pembebanan karena menggunakan distribusi tegangan terbagi rata seperti pada gambar 3.

Tabel 10. Rekapitulasi perhitungan settlement pavement dengan beban rencana 1 ton/m<sup>2</sup>

<b>q</b>	=	<b>1</b>	<b>t/m<sup>2</sup></b>
<b>H timbunan</b>	=	<b>0,56</b>	<b>m</b>
<b>Rasio Miring</b>	=	<b>1:1</b>	<b>-</b>
<b>a</b>	=	<b>0,56</b>	<b>m</b>

kedalaman	Tebal Lapisan (H <sub>i</sub> )	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	e <sub>0</sub>	Akibat Beban Lalu Lintas								ΔP (t/m <sup>2</sup> )	ΔP + P <sub>o</sub> (t/m <sup>2</sup> )	S <sub>c</sub> (m)	S <sub>c</sub> (m) Cumulative
					z	n	m	l	γ	γ <sub>air</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>c</sub>				
					(m)	n/z	m/z		(t/m <sup>3</sup> )	(t/m <sup>3</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )				
1	1	1,78	0,356	1,9	0,5	-	45	0,25	1,8	1	1,8	2,8	1	2,8	0,024	0,024
2	1	1,78	0,356	1,9	1,5	-	15	0,25	1,8	1	1,8	2,8	1	2,8	0,024	0,047
3	1	1,78	0,356	1,9	2,5	-	9	0,25	1,8	1	1,8	2,8	1	2,8	0,024	0,071
4	1	1,78	0,356	1,9	3,5	-	6,43	0,25	1,8	1	1,8	2,8	1	2,8	0,024	0,094
5	1	1,78	0,356	1,9	4,5	-	5	0,25	2	1	2	3	1	3	0,022	0,116

Berdasarkan tabel 10 di atas dapat dilihat hasil rekapitulasi perhitungan akibat beban lalu lintas dengan beban rencana sebesar 1 ton/m<sup>2</sup> sehingga menghasilkan penurunan sebesar 0,024 meter per lapisan tanahnya dengan komulatif penurunannya sebesar 0,116 meter yang dapat dilihat pada tabel di atas.

## 4) Rangkuman hasil perhitungan

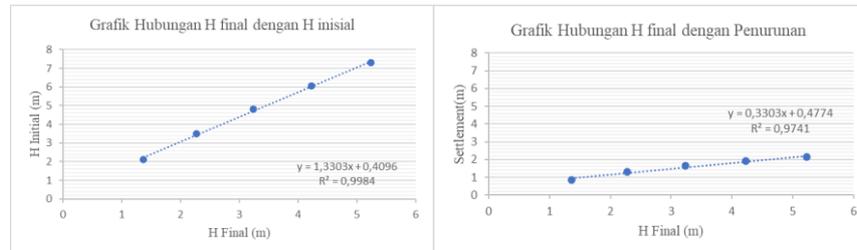
Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka dibuat tabel rangkuman hasil perhitungan untuk menentukan tinggi inisial dan tinggi final pada timbunan yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 11. Rangkuman hasil perhitungan untuk mencari H inisial dan H final

No	Beban q (t/m <sup>2</sup> )	Settlement akibat q (m)	H-Initial (m)	H-Bongkar Traffic (m)	Tebal Pavement (m)	Settlement Pavement (m)	Tinggi Final/Finished grade
	Design	Calculation	(B+C)/γ <sub>timb</sub>	Grafik	Design	Calculation	D-C-E+F-G
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
1	3	0,83	2,128	0,222	0,4	0,11	1,366
No	Beban q (t/m <sup>2</sup> )	Settlement akibat q (m)	H-Initial (m)	H-Bongkar Traffic (m)	Tebal Pavement (m)	Settlement Pavement (m)	Tinggi Final/Finished grade
	Design	Calculation	(B+C)/γ <sub>timb</sub>	Grafik	Design	Calculation	D-C-E+F-G

A	B	C	D	E	F	G	H
2	5	1,29	3,494	0,222	0,4	0,11	2,272
3	7	1,63	4,794	0,222	0,4	0,11	3,232
4	9	1,9	6,056	0,222	0,4	0,11	4,223
5	11	2,13	7,294	0,222	0,4	0,11	5,232

Sehingga dari tabel 11 di atas dibuat grafik perbandingan antara H inisial dengan H final dan grafik perbandingan antara settlement dengan H final, dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Grafik hubungan H final dengan H inisial dan H final dengan Settlement

Berdasarkan grafik pada gambar 5 di atas dapat ditentukan H inisial yang dibutuhkan agar mencapai H final yang direncanakan dengan menggunakan persamaan  $Y = 1,3303x + 0,4096$ . Berdasarkan grafik pada gambar 5 di atas dapat mengetahui penurunan yang dihasilkan dengan H final yang direncanakan dengan menggunakan persamaan  $Y = 0,3303x + 0,4774$ .

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan perbaikan tanah dasar dengan metode preloading waktu konsolidasi tanah yang dibutuhkan yaitu selama 6,24 tahun. Besarnya nilai penurunan pada tanah dasar menggunakan metode preloading dengan perencanaan tinggi timbunan 3 meter yaitu sebesar 1,45 meter. Berdasarkan hasil dari analisis perhitungan preloading maka didapatkan kesimpulan bahwa untuk dengan lamanya waktu penurunan yang menggunakan metode *preloading* maka perlu adanya kombinasi metode seperti pemakaian *prefabricated vertical drain* (PVD) untuk mempersingkat waktu konsolidasi pada tanah tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] dan A. K. Pratama, Rhesa Dian, "Analisis Penurunan Tanah Timbunan Pada Konstruksi *Runway* Dengan Program Bantu Microsoft Excel," 2019.
- [2] R. Surbakti, "Prediksi Penurunan Konsolidasi Tanah Lunak Dengan Metode Analitis Dan Metode Element Hingga Prediction of Soft Soil Consolidation Settlement Using Analytical Method and Finite Element Method," *J. Civ. Eng., Build. Transp.*, vol. 5, no. September, pp. 83-91, 2021.
- [3] M. S. H, Dr. Ir. H. Darwis, *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Makassar: Pustaka AQ, 2017.
- [4] I. B. M. Das, Braja M., Noor Endah, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, 1st ed. Surabaya: Penerbit ERLANGGA, 1995.
- [5] A. C. Ningsih, *Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Jember: Ningsih, Ana Crosita, 2018.
- [6] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II*, 3rd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [7] D. J. P. U. Kementerian Perhubungan, *Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara Tentang (Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil - Bagian 139)*. 2015.
- [8] S. Reza Satria Warman, *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik Dan Fondasi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga, 2019.
- [9] A. C. Ningsih, *Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Jember: Ningsih, Ana Crosita, 2018.
- [10] Z. F. LILABSARI, *Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrument Geoteknik Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda Dan Btari Dengan Penggunaan Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Malang: Zahra Febrina Lilabsari, 2018.