

EVALUASI *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* SEBAGAI PEMERCEPAT PROSES KONSOLIDASI PADA LAPISAN SEDIMEN DI LAHAN URUG SANITER TALANGGULO, KOTA JAMBI

MUHAMMAD ZELANDI¹, IMAM A. SADISUN¹

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

Sari – Proses konsolidasi pada lapisan tanah residu yang belum terkonsolidasi primer dengan baik (tekanan pori 1 kN/m²) dapat meningkatkan potensi terjadinya penurunan tanah. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan percepatan proses konsolidasi primer lapisan sedimen, sehingga tanah dapat menahan beban yang ada di atasnya. Lahan urug saniter di Talanggulo, Jambi, berada pada tanah residu dengan kondisi litologi yang didominasi oleh lempung yang proses konsolidasinya berlangsung lebih lama. Oleh karena itu, perlu dilakukan percepatan penurunan tanah yang dapat dijadikan sebagai dasar penimbunan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analitik dan metode elemen hingga, yaitu melihat penurunan vertikal tanah dan penurunan tekanan air pori (PWP) pada kondisi lahan urug saniter tanpa *prefabricated vertical drain* (PVD), dan dengan PVD pada jarak 2 m dan 3 m pada lapisan tanah residu. Berdasarkan hasil pengukuran pada saat tebal timbunan 15 m, terlihat bahwa pada kondisi tanpa PVD terjadi perubahan vertikal sebesar 1,75 m, sedangkan pada kondisi lahan urug saniter dengan PVD interval 3 m tercatat penurunan sebesar 2,02 m, TPA dengan PVD interval 2 m terdapat perubahan vertikal sebesar 2,12 m. Sedangkan proses PWP pada tanah tanpa PVD menunjukkan bahwa kecepatan agar mencapai tekanan pori minimum lebih cepat dibandingkan dengan kondisi tanpa PVD, dengan PVD interval 2 m lebih besar pengaruhnya dibandingkan PVD dengan jarak 3 m. Dapat diketahui penggunaan PVD di lahan urug saniter Talanggulo dapat efektif untuk mempercepat proses konsolidasi.

Kata kunci: lahan urug saniter, *prefabricated vertical drain*, sedimen lempung, konsolidasi.

Abstract - The consolidation process in the residual soil layer that has not yet reached primary consolidation equilibrium (pore pressure 1 kN/m²) could increase its potential to have land subsidence. It is necessary to deal its problem with hastening the consolidation process of the soil layer, so the soil consolidation equilibrium states can be achieved, and the soil will withstand the load from the overburden on it. The sanitary landfill in Talanggulo, Jambi, resides on residual soil with a lithological condition dominated by clay, which the consolidation process occurs longer. Thus, it needs to accelerate the settlement of the soil that can be used as the base for landfill. The method used in this study are analytical method and the finite element method, which is looking at vertical settlement of the soil and decreased of pore water pressure (PWP) in sanitary landfill conditions without PVD, and with PVD at the spacing of 1.5 m, 2 m and 3 m, at the residual soil layer. Based on the measurement results when the disposal thickness at 15 m, it is observed that in landfill conditions without PVD, the vertical change that occurs is 1.75 m, while in landfill conditions with PVD 3 m spacing noted as 2.02 m, and at landfills with PVD 2 m spacing it occurs the vertical change of 2.12 m. Meanwhile the PWP process. the velocity of landfills with PVD to reaches the minimum pore pressure faster than landfills without PVD, with PVD 2 m spacing has the greater effect than PVD with 3 m spacing. It can be identify the PVD usage in Talanggulo sanitary landfill could be effective to accelerate the settlement process.

Keywords: sanitary landfill, *prefabricated vertical drain*, clay sediment, consolidation.

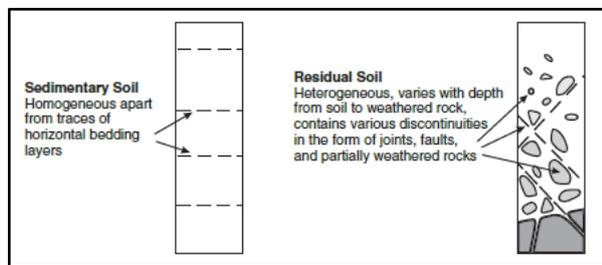
1. PENDAHULUAN

Pembangunan suatu tempat pemrosesan akhir sampah memerlukan analisis yang signifikan terkait daya dukung dari tanahnya. Salah satu masalah yang sering muncul dalam pembangunan tempat pemrosesan akhir sampah adalah lamanya konsolidasi yang ada di lapisan sedimen. Konsolidasi menurut Budhu (2011) dapat dibagi menjadi konsolidasi seketika, konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder.

Dalam melihat konsolidasi primer, faktor fisik dan mekanik dari tanah akan sangat mempengaruhi, ditambah dengan kontrol muka airtanah yang dapat memberi pengaruh dalam kecepatan proses konsolidasi dari suatu lapisan tanah (Lee dkk., 2018; Xu and Shen, 2008; Baeteman, 1994).

Gambar 1 menunjukkan perbedaan tanah

residu dengan tanah sedimenter. Tanah residu merupakan jenis tanah yang terbentuk akibat pelapukan batuan segarnya (Wesley, 2010). Kondisi tanah residu memiliki karakteristik berupa kandungan mineralnya sama atau telah mengalami ubahan akibat proses pelapukannya, memiliki warna yang dikontrol oleh kandungan kimia tanah, serta tidak terjadinya transportasi sehingga cenderung bersifat homogen. Pada tanah lempung sendiri faktor permeabilitas yang rendah menyebabkan konsolidasi primer yang terjadi berlangsung secara lamban (Aspar dkk., 2017). Hal ini dapat mengakibatkan tanah residu berukuran lempung memiliki potensi untuk mengalami amblesan.



Gambar 1. Perbedaan antara tanah sedimen hasil transportasi dan tanah residu hasil pelapukan batuan induknya (Wesley, 2010).

Proses percepatan konsolidasi dapat dilakukan dengan menyesuaikan masalah yang terjadi pada tanah. Pada kondisi tanah residu berukuran butir halus seperti lempung, masalah ini dapat dikelola dengan mengeluarkan air pada tanah sehingga konsolidasi terjadi lebih cepat. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan memasang *prefabricated vertical drain* (PVD) pada lapisan yang berpermeabilitas rendah. Dengan memasang PVD, maka muka airtanah dapat berkurang dengan baik dan konsolidasi pada tanah residu semakin cepat (Raden dkk., 2016; Vitaloka dan Iskandar, 2013).

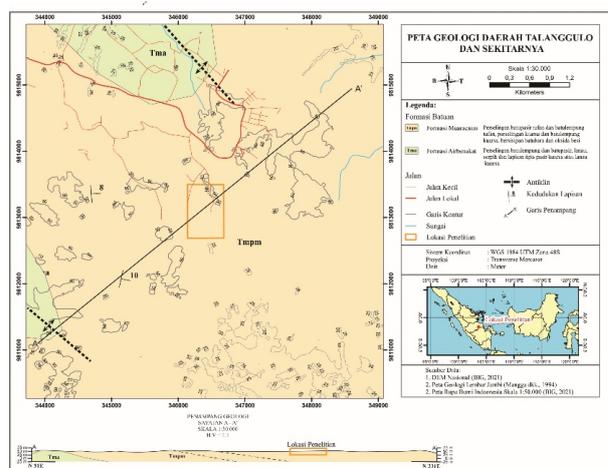
Tempat pemrosesan akhir Talanggulo merupakan salah satu lokasi yang dibangun dengan menggunakan sistem lahan urug saniter (*sanitary landfill*), berlokasi di Kecamatan Kotabaru, Kota Jambi. **Gambar 2** menunjukkan lokasi lahan urug saniter Talanggulo yang berjarak 10 km dari Sungai

Batanghari, dengan jarak yang cukup jauh dari lokasi pemukiman penduduk. Kondisi reliefnya cenderung landai hingga bergelombang lemah, dengan elevasi berkisar 19 m hingga 42 m.



Gambar 2. Kenampakan lokasi penelitian lahan urug saniter di Talanggulo, Kota Jambi.

Menurut Mangga dkk. (1994), lokasi lahan urug saniter Talanggulo memiliki karakteristik tanah residu dari pelapukan batuan penyusun Formasi Muaraenim (**Gambar 3**). Batulempung dan serpih yang ada pada formasi tersebut mengalami pelapukan dan menghasilkan tanah yang didominasi oleh lempung dan lanau dengan kondisi *highly weathered* hingga *residual soil*. Kondisi tersebut dapat berpotensi memperlambat proses konsolidasi di lokasi lahan urug saniter tersebut.



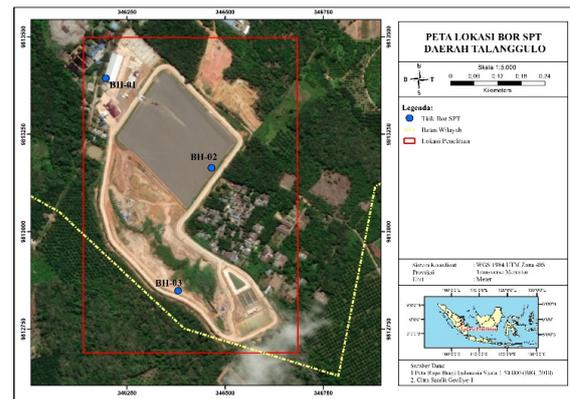
Gambar 3. Peta geologi regional daerah Talanggulo dan sekitarnya (Mangga dkk., 1994).

Sementara kondisi muka airtanah pada lokasi lahan urug saniter diketahui cukup dekat dengan permukaan (3 m di bawah permukaan tanah), mengakibatkan kondisi tanah yang jenuh yang dapat memperlambat konsolidasinya. Hal ini dapat disebabkan adanya lapisan permeabel yang dapat mempengaruhi fluktuasi dari muka airtanah. Dengan adanya lapisan tersebut, maka lapisan batuan akan terus mendapatkan suplai air yang dapat mengisi rongga pada masing-masing lapisan.

Untuk dapat mengetahui pengaruh pemasangan PVD pada kondisi tanah residu di lokasi lahan urug saniter Talanggulo, maka perlu dilakukan simulasi baik pada kondisi tanpa dipasang PVD maupun dengan pemasangan PVD. Hal tersebut dapat menunjukkan bagaimana efektivitas dari pemasangan PVD terkait dengan kasus lahan urug saniter dalam mencapai kondisi konsolidasi 90%. Kemudian hasil yang analisis tersebut dapat menjadi bahan evaluasi terkait perencanaan dan pembangunan tempat pemrosesan akhir sampah yang berbasis lahan urug saniter.

2. DATA DAN METODOLOGI

Pada penelitian ini data yang dipakai terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer terdiri atas 3 titik bor uji *standard penetration test* (SPT) pada titik yang akan dijadikan sebagai lokasi penimbunan sampah. Data yang didapatkan berupa data log bor sedalam 20 m pada masing-masing titik dengan sebaran litologi yang bervariasi. **Gambar 4** menunjukkan titik pengambilan data bor, yang terbagi menjadi BH-01 pada elevasi 39 m, BH-02 pada elevasi 42 m, dan BH-03 pada elevasi 29 m.

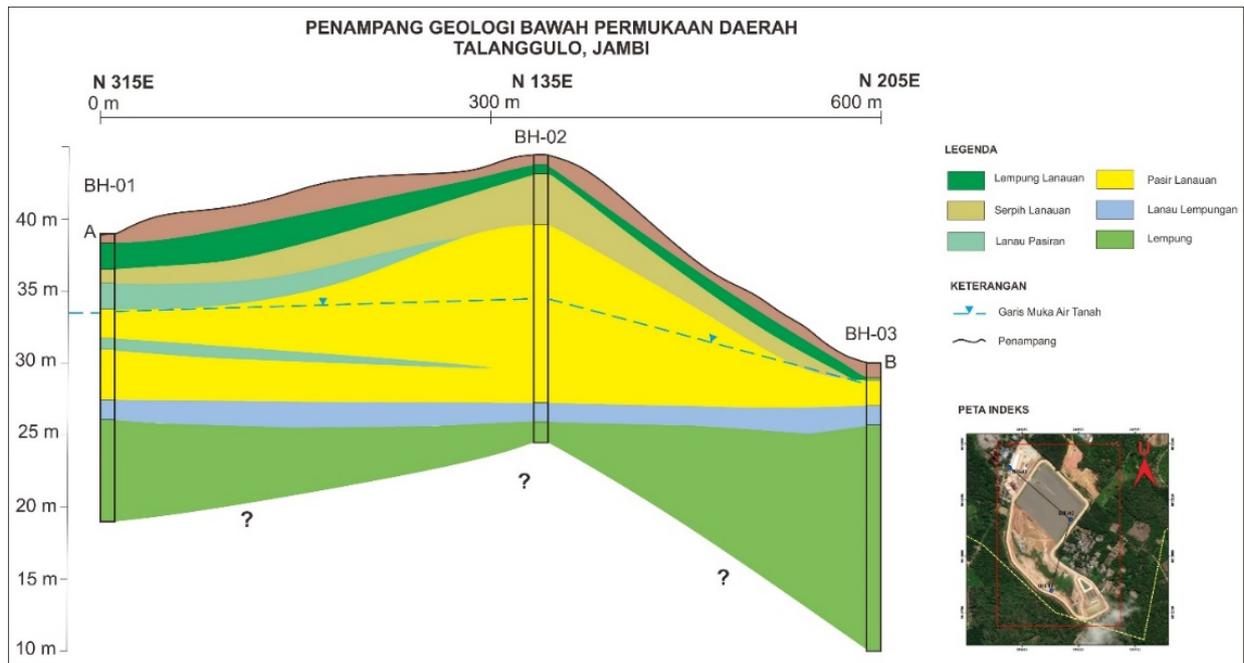


Gambar 4. Peta lokasi pengambilan data bor SPT di Talanggulo.

Data laboratorium yang digunakan merupakan hasil uji sifat fisik dan mekanik tanah, berupa uji triaksial, uji permeabilitas, dan uji konsolidasi menggunakan oedometer. Sampel yang digunakan merupakan sampel tak terganggu yang diambil setiap jarak 3 m pada uji pengeboran SPT sesuai SNI.

Investigasi geologi detail dilakukan pada lokasi ini dengan menggunakan data log pengeboran *standard penetration test* (SPT) pada tiga titik, yang menunjukkan kondisi bawah permukaan sedalam 20 m dari masing-masing titik bor.

Gambar 5 menunjukkan hasil pengeboran, yang menunjukkan kondisi tanah yang didominasi oleh lanau dan lempung lanauan pada lapisan atas, kemudian pada kedalaman yang lebih dalam terlihat dominasi pasir lanauan, serta terdapat lapisan lempung yang cukup tebal pada bagian bawah data log bor. Kondisi ini menunjukkan bahwa terdapat lapisan permeabel di antara dua lapisan kedap air, menyebabkan fluktuasi muka airtanah yang signifikan.



Gambar 5. Penampang geologi bawah permukaan dari hasil data pengeboran, menunjukkan adanya akuifer tertekan di lokasi penelitian, yaitu lapisan permeabel diantara dua lapisan kedap air.

Metode yang digunakan adalah metode analitis dan metode elemen hingga. Metode analitis yang digunakan adalah dengan menghitung besaran konsolidasi dari tanah residu menggunakan perhitungan konsolidasi satu dimensi berdasarkan Terzaghi (1943; dalam Wesley, 2010). Adapun persamaan besar penurunan tanah terkonsolidasi normal dapat dilihat pada persamaan berikut,

$$S_c = \left[\frac{C_c H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \right]$$

dengan:

S_c = besar penurunan

C_c = indeks kompresi

H = tebal lapisan yang dilihat

σ'_0 = tegangan *overburden* dari tanah bagian atas (kN/m^2)

$\Delta\sigma'$ = penambahan tegangan efektif (kN/m^2)

e_0 = angka pori awal

Sementara metode elemen hingga yaitu merupakan metode kuantitatif yang melihat perubahan vektor dari tanah yang telah dikonversi menjadi arah dan posisi (Budhu, 2011). Bentuk dari lapisan disesuaikan dengan kondisi dan korelasi yang telah dilakukan dari pengeboran SPT. Skenario yang dilakukan

yaitu pada kondisi lahan urug saniter tanpa dipasang PVD, lalu kondisi lahan urug saniter yang dipasang PVD dengan interval 2 m, dan kondisi interval 3 m. **Tabel 1** menunjukkan variabel yang dipakai dalam melakukan perhitungan metode elemen hingga.

Skenario perhitungan konsolidasi dilaksanakan dengan 5 tahapan, yaitu pada 365 hari pertama, 365 hari kedua (730 hari), 365 hari ketiga (1095 hari), 365 hari keempat (1460 hari), dan kondisi terkonsolidasi 90% atau tegangan pori mencapai kondisi 1 kN/m^2 . Metode tersebut dilaksanakan pada kondisi lahan urug saniter dengan pemasangan PVD 2 m, 3 m, dan tanpa dipasang PVD. Hasil yang didapatkan berupa model penurunan tanah serta grafik hubungan penurunan tanah terhadap waktu serta penurunan tegangan pori terhadap waktu.

Sementara parameter yang diobservasi pada penelitian ini adalah penurunan tanah secara vertikal (u_y) dan juga perubahan tegangan pori (*pore water pressure*, PWP) dari masing-masing skenario yang dijalankan. Penurunan vertikal tersebut akan menunjukkan seberapa besar konsolidasi yang terjadi pada lokasi analisis, sementara perubahan tegangan pori akan menunjukkan proses disipasi yang terjadi

pada tanah residu. Nilai yang didapatkan kemudian diinterpretasikan dan dilihat lama

terjadinya penurunan, serta besar dari penurunan yang terjadi.

Tabel 1. Parameter yang digunakan dalam perhitungan metode elemen hingga.

Litologi	Kedalaman	Permeabilitas	Berat Isi Kering	Berat isi Jenuh	Angka Pori	Koehsi	Sudut Geser Dalam	Modulus Elastisitas	Nisbah Poisson	H
	(m)									
Timbunan	0.0-15.0	-	9.2	9,6	0,6	23	20	400	0,35	0
Lempung Lanauan	15.0-18.4	0,00216	12.94	17,72	0,94	18.27	5.692	600	0.3	15
Serpil Lanauan	18.4-21.6	0,001728	11.58	16,26	1.16	13.18	5.49	854	0.3	18,4
Lanau Pasiran	21.6-24.3	0,001728	11.34	16,51	1,15	9.5	5.712	1024	0.25	21,6
Pasir Lanauan	24.3-28.6	0,1728	17.07	20,23	0,53	28.73	32	53625	0.3	24,3
Lanau Lempungan	28.6-31.0	0,003456	10.24	15,88	1,39	21.77	4.57	10000	0.3	28,6
Lempung	31.0-35.0	0,0000216	10.4	15,95	1,37	21.97	5.788	12000	0.35	31

3. HASIL DAN ANALISIS

Metode Analitik

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data hasil investigasi geologi teknik di lapangan. Metode yang digunakan adalah menghitung besar penurunan yang terjadi dan derajat konsolidasinya, sehingga didapatkan besaran konsolidasi yang terjadi pada suatu lokasi. Besar penurunan didapatkan dengan menghitung konsolidasi alamiah tanah berupa konsolidasi primer dari lokasi penelitian berdasarkan metode konsolidasi satu dimensi menurut Terzaghi (1943; dalam Wesley, 2010).

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan yang dilakukan dengan metode analitik. Dapat diketahui bahwa pada lapisan lempung lanauan mengalami konsolidasi 0,43 m, sementara lapisan serpil lanauan di bawahnya mengalami konsolidasi alamiah sebesar 1,36 m. Pada lapisan lanau pasiran, konsolidasi yang terjadi adalah sebesar 1,58 m, sementara pada lanau lempungan setebal 2,4 m menunjukkan penurunan sebesar 1,19 m, dan pada lapisan lempung setebal 4 m menunjukkan penurunan sebesar 1,26 m.

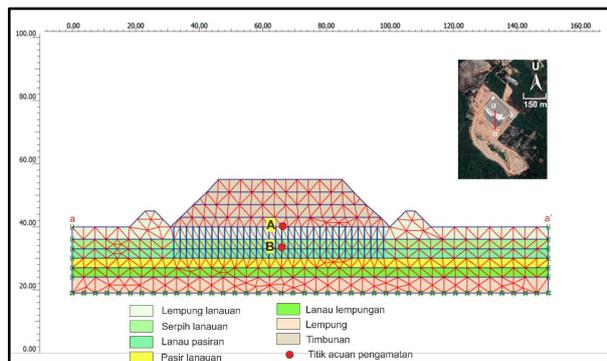
Tabel 2. Hasil perhitungan metode analitis menggunakan metode konsolidasi satu dimensi.

Litologi	Kedalaman	Parameter Mekanik			H	H0	e0	Cs	Perhitungan konsolidasi alamiah			
		γ_s	Cv	Cc					P0	Δp	P1'	Sp
Lempung Lanauan	15.0-18.4	17,72	0,00125	0,155	16,5	1,5	1,003	0,0498	26,58	265,8	292,38	0,43
Serpil Lanauan	18.4-21.6	16,26	0,00076	0,217	18,4	3,4	1,151	0,102	55,28	243,9	299,184	1,36
Lanau Pasiran	21.6-24.3	16,51	0,00054	0,3065	21,6	6,6	1,153	0,191	108,97	247,65	356,616	1,58
Lanau Lempungan	28.6-31.0	15,88	0,00120	0,308	28,6	13,6	1,39	0,165	215,97	238,2	454,168	1,19
Lempung	31.0-35.0	15,95	0,00068	0,337	31	16	1,368	0,199	255,2	239,25	494,45	1,26

Metode Elemen Hingga

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data hasil investigasi geologi teknik di lapangan, yaitu data log pengeboran yang telah dikorelasikan, serta sifat fisik dan mekanik hasil laboratorium sampel tanah residu di lokasi lahan urug saniter Talanggulo. Metode yang digunakan adalah menggunakan metode elemen hingga dengan melihat besar penurunan pada tanah residu.

Gambar 6 menunjukkan titik pengamatan pada model elemen hingga, yaitu titik A pada bagian atas lempung lanauan, sementara titik B terletak pada bagian atas dari lanau pasir. Tebal timbunan sendiri adalah 15 m, dengan pengaturan penambahan tebal 3 – 5 m setiap 365 hari atau periode satu tahun.

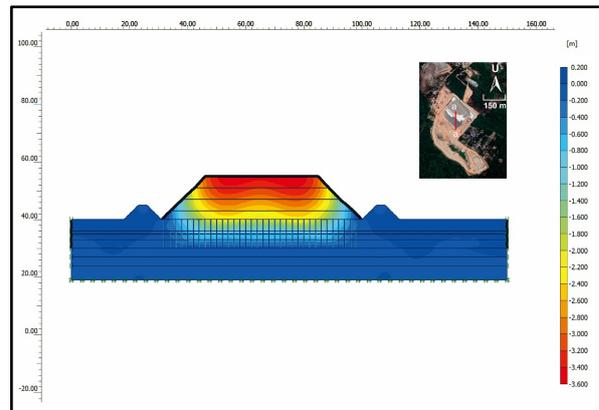


Gambar 6. Jaringan elemen model elemen hingga dari lahan urug saniter, dengan titik acuan pengamatan pada titik A dan titik B (titik merah).

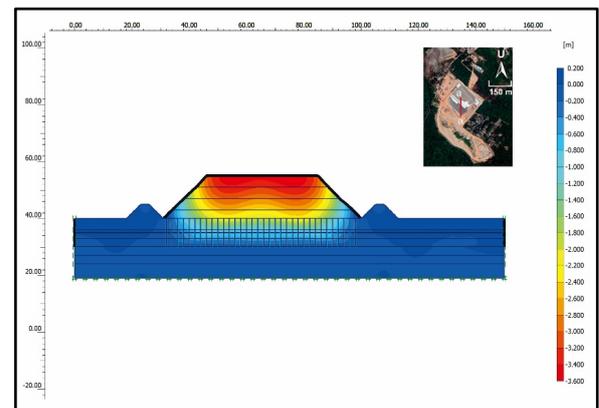
Gambar 7 menunjukkan hasil konsolidasi yang dilakukan pada kondisi tanpa dipasang PVD. Dapat terlihat bahwa pada kondisi timbunan mengalami penurunan sebesar 3 m secara vertikal dan terlihat cukup signifikan. Sementara pada lapisan dibawahnya cenderung konstan hingga mengalami penurunan sebesar 0,2 m.

Gambar 8 menunjukkan hasil konsolidasi yang dilakukan pada kondisi terpasang PVD dengan interval antar drainase sejauh 3 m. Dapat terlihat bahwa pada kondisi timbunan mengalami penurunan sebesar 3 m secara vertikal, dengan sebarannya cenderung terkonsentrasi pada bagian tengah. Sementara

pada lapisan dibawahnya cenderung konstan hingga mengalami penurunan sebesar 0,2 m dan sebarannya cukup merata.

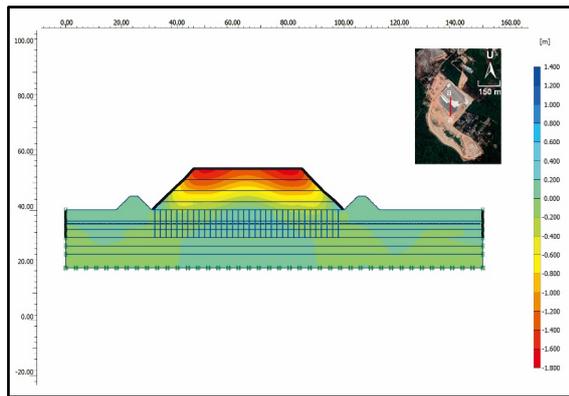


Gambar 7. Hasil skenario konsolidasi lahan urug saniter tanpa menggunakan PVD.



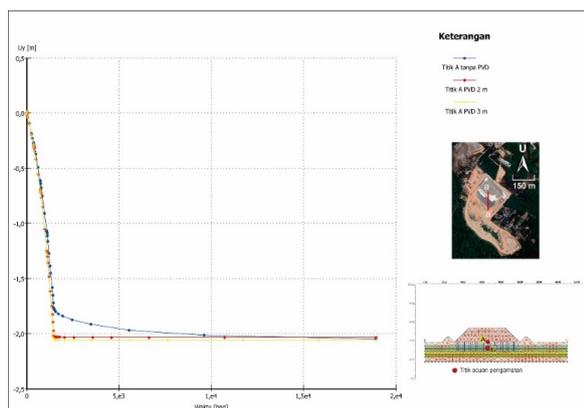
Gambar 8. Hasil skenario konsolidasi pada lahan urug saniter dengan PVD interval 3 m.

Gambar 9 memperlihatkan skenario konsolidasi yang dilakukan pada kondisi terpasang PVD berjarak 2 m. Dapat diketahui bahwa pada kondisi timbunan mengalami penurunan 1,8 m secara vertikal, dengan sebarannya mulai berkurang secara horizontal. Sementara pada lapisan tanah residu cenderung stabil dalam mengalami konsolidasi, sementara pada beberapa titik mengalami penurunan sebesar 0,2 m hingga 0,4 m.



Gambar 9. Hasil skenario konsolidasi pada lahan urug saniter dengan PVD interval 2 m.

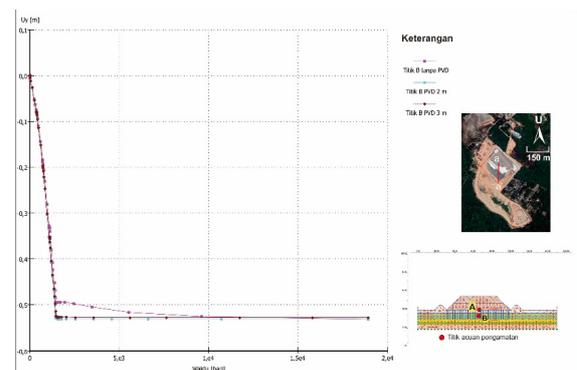
Sementara pada observasi proses konsolidasi di titik acuan, **Gambar 10** menunjukkan grafik hasil penurunan secara vertikal terhadap waktu terjadi konsolidasi. Pada waktu 365 hari kedua terlihat penurunan pada kondisi tanpa PVD sebesar 1,75 m, sementara pada skenario pemasangan PVD 3 m menunjukkan penurunan vertikal sebesar 2,02 m, dan pada skenario pemasangan PVD 2 m terjadi penurunan vertikal 2,12 m. Proses konsolidasi primer yang telah selesai ditunjukkan pada grafik yang melandai, pada skenario PVD 3 m waktu konsolidasinya 1500 hari, skenario PVD 2 m dengan waktu konsolidasinya 1460 hari, serta pada skenario tanpa PVD proses konsolidasi berhenti pada 14600 hari.



Gambar 10. Grafik hubungan penurunan vertikal terhadap faktor waktu pada titik acuan A.

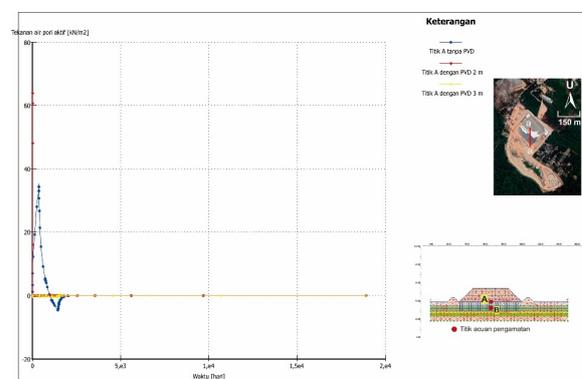
Gambar 11 menunjukkan grafik hasil penurunan secara vertikal terhadap faktor waktu terjadi konsolidasi. Pada waktu 365 hari kedua terlihat penurunan pada kondisi tanpa PVD sebesar 1,75 m, sementara pada skenario pemasangan PVD 3 m menunjukkan penurunan vertikal sebesar 2,02 m, dan pada skenario pemasangan PVD 2 m terjadi penurunan vertikal 2,12 m. Kondisi konsolidasi konstan pada skenario PVD 3 m dan 2 m lebih cepat terjadi ketimbang tanpa skenario PVD, yaitu pada waktu 365 hari keempat.

PVD sebesar 1,75 m, sementara pada skenario pemasangan PVD 3 m menunjukkan penurunan vertikal sebesar 2,02 m, dan pada skenario pemasangan PVD 2 m terjadi penurunan vertikal 2,12 m. Kondisi konsolidasi konstan pada skenario PVD 3 m dan 2 m lebih cepat terjadi ketimbang tanpa skenario PVD, yaitu pada waktu 365 hari keempat.



Gambar 11. Grafik hubungan penurunan vertikal terhadap faktor waktu pada titik acuan B.

Gambar 12 menunjukkan perubahan tegangan pori aktif dari titik A. Dapat diketahui bahwa pada skenario tanpa dipasang PVD, penurunan tegangan pori sempat mencapai kondisi 35 kN/m² saat 365 hari kedua, sementara mengalami penurunan hingga tegangan porinya mengisi kembali sebesar 7 kN/m², dan mulai mencapai kondisi tegangan pori saat 2500 hari. Sementara pada skenario PVD vertikal 2 m dan 3 m, proses penurunan tegangan pori terjadi lebih cepat yaitu pada kondisi 80 hari.



Gambar 12. Grafik penurunan tegangan pori (PWP) terhadap faktor waktu.

4. DISKUSI

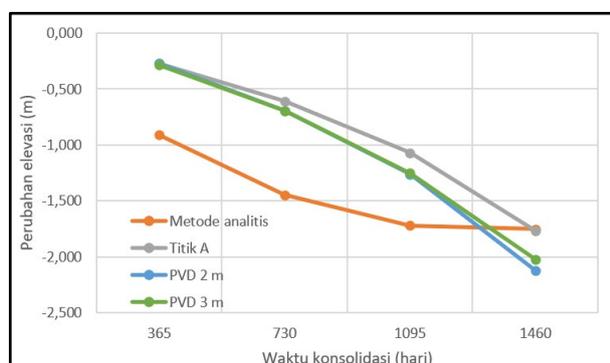
Pada kondisi perhitungan dapat terlihat bahwa terjadinya penurunan pada metode analisis lebih besar ketimbang penurunan pada metode elemen hingga, akan tetapi saat timbunan mencapai tebal 15 m, nilai yang didapatkan hampir sama. Pada **Tabel 3** hasil konsolidasi dari berbagai metode yang diujikan. Dapat

diketahui bahwa terdapat hasil perhitungan penurunan tanpa PVD, baik dengan metode analitis maupun menggunakan metode elemen hingga. Sementara pada skenario penurunan dengan pemasangan PVD dilakukan pada kondisi 2 m dan 3m, yang kemudian dibagi berdasarkan titik acuan pengamatan yaitu titik A dan titik B.

Tabel 3. Hasil konsolidasi pada timbunan dengan berbagai metode.

Tahap	Tinggi Timbunan (m)	Lama konsolidasi kumulatif (hari)	Penurunan tanpa PVD (m)		Penurunan dengan PVD (m)				
			Metode analitis	Program plaxis		PVD 2 m		PVD 3 m	
				Titik A	Titik B	a	b	a	b
1	3	365	0,909	0,27	0,076	0,27	0,075	0,285	0,075
2	7	730	1,446	0,61	0,184	0,694	0,184	0,694	0,184
3	11	1095	1,718	1,069	0,328	1,261	0,328	1,251	0,351
4	15	1460	1,750	1,766	0,494	2,12	0,524	2,02	0,514

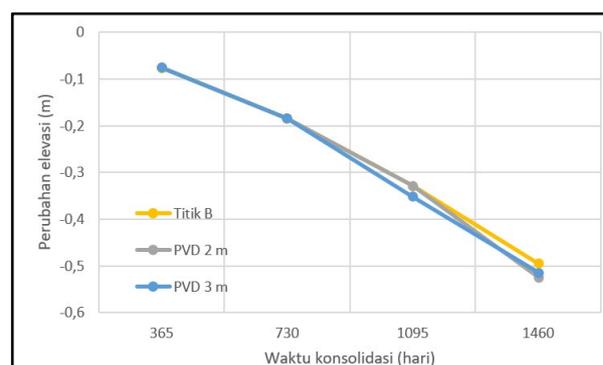
Gambar 13 menunjukkan penurunan tanah pada titik A selama timbunan ditambahkan hingga 15 m. Dapat diketahui bahwa penurunan tanpa PVD baik dengan metode analitis dan metode elemen hingga menunjukkan angka yang sama, yaitu 1,75 m. Sementara, pada skenario dengan PVD pada 2 m dan 3 m menunjukkan nilai penurunan yang lebih tinggi, yaitu 2,12 m dan 2,02 m. Hal tersebut disebabkan tegangan pori yang ada pada tanah residu belum mengalami disipasi, sehingga pada 4 tahun pertama di skenario tanpa PVD nilai penurunan atau konsolidasi tanahnya lebih kecil ketimbang skenario terpasang PVD.



Gambar 13. Grafik penurunan tegangan pori (PWP) terhadap faktor waktu.

Gambar 14 menunjukkan penurunan tanah pada titik B selama timbunan ditambahkan hingga 15 m. Dapat diketahui bahwa

penurunan tanpa PVD menunjukkan nilai 0,494. Lalu di skenario dengan PVD pada 2 m dan 3 m menunjukkan nilai penurunan yang lebih tinggi, yaitu 0,524 m dan 0,514 m. Hal ini juga didorong oleh tegangan pori yang ada pada tanah residu dalam skenario memasang PVD sudah mencapai kondisi yang kosong, sehingga proses konsolidasinya hanya dipengaruhi sifat fisik tanah maupun ketebalan dari tanahnya.



Gambar 14. Grafik penurunan tegangan pori (PWP) terhadap faktor waktu.

Faktor adanya lapisan pasir lanauan mempengaruhi proses konsolidasi pada bagian atas, yaitu memperlambat proses yang terjadi. Setelah pemasangan PVD, baik pada interval 2 m maupun 3 m, kecepatan konsolidasi yang terjadi lebih signifikan. Hal tersebut disebabkan pada pemasangan PVD, faktor tegangan pori sudah diselesaikan sehingga

pengaruhnya adalah pada faktor sifat fisik, mekanik, serta faktor kedalaman dari tanah residu.

Percepatan proses konsolidasi dengan dan tanpa PVD memiliki perbedaan besar konsolidasi sebesar 0,5 m. Jumlah tersebut dapat dikatakan cukup besar, karena kondisi tegangan pori yang sudah mengalami pengeluaran air di dalamnya. Proses disipasi dengan PVD juga memberikan dampak percepatan proses konsolidasi, dengan kondisi saat proses konsolidasi mencapai 90% pada waktu 1460-1500 hari, dibandingkan tanpa dipasang PVD yang membutuhkan waktu 14600 hari.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang dilaksanakan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Dalam kondisi tanpa menggunakan PVD menunjukkan waktu konsolidasi 90% pada 14600 hari, dengan besar penurunan 1,7 m pada titik A, dan pada titik B sebesar 0,49 m.
- Pada skenario menggunakan PVD interval 2 m menunjukkan waktu konsolidasi 90% pada 1460 hari dengan besar penurunan 2,12 m pada titik A, dan pada titik B sebesar 0,54 m.
- Pada skenario menggunakan PVD interval 3 m menunjukkan waktu konsolidasi 90% pada 1500 hari dengan besar penurunan 2,02 m pada titik A, dan pada titik B sebesar 0,53 m.
- Penurunan tegangan pori hingga 1 kN/m² pada kondisi PVD terpasang jauh lebih cepat tercapai (80 hari) dibandingkan tanpa memakai PVD (2500 hari).
- Pemasangan PVD dengan kedalaman 9,5 m berjarak 2 m lebih efektif untuk dipakai pada lokasi lahan urug saniter Talanggulo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi yang membantu terkait proses pengumpulan data, serta rekan-rekan Konsentrasi Geologi Rekayasa Magister Teknik Geologi ITB yang telah memberikan masukan selama penyusunan publikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aspar, W. A. N., Fitriani, E. N., dan Arthono, A. (2017): Perhitungan Kembali Nilai Koefisien Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak, *Teknologi*, **7**(1).
- Baeteman, C. (1994): Subsidence in coastal lowlands due to groundwater withdrawal: The geological approach, *Journal of Coastal Research Special Issue*, **12**, 61–75.
- Budhu, M. (2011): *Soil mechanics and foundations* (3rd ed.), John Wiley and Sons, New Jersey.
- Lee, I., Choi, Y. T., Lee, M., dan Yune, C. Y. (2018): Effect of groundwater level variation on residual settlement of Korean High-Speed Railway on soft ground, *KSCE Journal of Civil Engineering*, **22**(9), 3312–3320.
- Mangga, A., Santosa, S., dan Hermanto, B. (1994): *Peta Geologi Lembar Jambi, Sumatra*, Bandung.
- Raden, W. M., Hamdhan, I. N., dan Bemby, S. (2016): Pemodelan Vertical Drain Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur, *Reka Racana*, **2**(3), 1–16.
- Terzaghi, K. (1943): *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons.
- Vitaloka, P. P. dan Iskandar, R. (2013): Analisis penurunan tanah lunak menggunakan PVD memakai program Plaxis (Studi kasus proyek pembangunan Behandle Area Pelabuhan Kuala Tanjung), (1).
- Wesley, L. D. (2010): *Fundamentals of soil mechanics for sedimentary and residual soils* (1st ed.), John Wiley & Sons, New Jersey.
- Xu, Y. dan Shen, S. (2008): The state of land subsidence and prediction approaches due to groundwater withdrawal in China, *Natural Hazards*, **45**(April), 123–135.