

Analisis Kebutuhan Perkuatan *Geotextile* untuk Tinggi Timbunan Badan Jalan yang Bervariasi di atas Tanah Lunak pada Kondisi dengan dan tanpa Pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

Rohmahillah Aviskanasya Septiandri^{1,*}, Indrasurya B. Mochtar¹, Yudhi Lastiasih¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: rohmahillah22@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	26 Juni 2021	<i>The need for geotextile reinforcement is be affected by the condition of the subgrade itself. The difference in basic conditions when with PVD (Prefabricated Vertical Drain) installation and without PVD installation lies in the bearing capacity. The bearing capacity of the subgrade with PVD installation is higher than without PVD installation, this is caused by the increase in C_u values as a result of consolidation settlement, which affects the amount of geotextile reinforcement needed. For geotextiles with the same T_{ults}, the need for geotextile reinforcement with PVD installation is less than without PVD installation, while for geotextiles with varying T_{ults} there is a limit for conditions without PVD installation. In conditions without PVD installation, the higher the embankment, the higher the T_{ult} geotextile used, while for conditions with PVD installation, the T_{ult} geotextile used for all variations of embankment height in this study was at least 50 kN.</i>
Diperbaiki	21 Juli 2021	
Disetujui	21 Juli 2021	

Keywords: bearing capacity, geotextile, maximum tensile strength (T_{ult}), prefabricated vertical drain (PVD)

Kata kunci: daya dukung, geotextile, kuat tarik maksimum (T_{ult}), prefabricated vertical drain (PVD)

Abstrak

Kebutuhan perkuatan *geotextile* dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar itu sendiri. Perbedaan kondisi tanah dasar ketika dengan pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dan tanpa pemasangan PVD terletak pada daya dukungnya. Daya dukung tanah dasar dengan pemasangan PVD lebih tinggi daripada tanpa pemasangan PVD, hal tersebut dikarenakan kenaikan harga C_u sebagai akibat pemampatan konsolidasi sehingga mempengaruhi jumlah kebutuhan perkuatan *geotextile*. Pada *geotextile* dengan T_{ult} yang sama, kebutuhan jumlah perkuatan *geotextile* dengan pemasangan PVD lebih sedikit daripada tanpa pemasangan PVD, sedangkan pada *geotextile* dengan T_{ult} yang bervariasi terdapat batasan untuk kondisi tanpa pemasangan PVD. Pada kondisi tanpa pemasangan PVD, semakin tinggi timbunan maka T_{ult} *geotextile* yang digunakan semakin tinggi, sedangkan untuk kondisi dengan pemasangan PVD, T_{ult} *geotextile* yang digunakan untuk semua variasi tinggi timbunan dalam penelitian ini minimal 50 kN.

1. Pendahuluan

Terdapat tiga komponen pemampatan yang terjadi di lapangan, yaitu pemampatan segera yang biasa dikenal dengan *immediate settlement* (S_i), pemampatan primer yang biasa dikenal dengan *primary consolidation settlement* (S_c) dan pemampatan sekunder yang biasa disebut dengan *secondary consolidation settlement* (S_s). Dalam praktiknya, *primary consolidation settlement* (S_c) lebih sering diperhitungkan terutama pada perencanaan di atas tanah lunak. Besar *primary consolidation settlement* (S_c) pada tanah lunak merupakan permasalahan yang harus diperhitungkan dan dipertimbangkan dalam sebuah perencanaan dikarenakan nilainya yang besar dan membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan besarnya pemampatan. Jika suatu kegiatan konstruksi dilakukan saat tanah belum terkonsolidasi, konstruksi tersebut akan mengalami pemampatan dan apabila besar pemampatan yang terjadi tidak merata maka akan terjadi

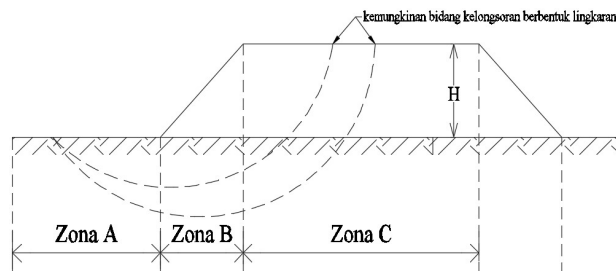
differential settlement yang dapat menyebabkan kegagalan konstruksi [1].

Pada dasarnya perhitungan besar pemampatan konsolidasi dilakukan sampai ketebalan lapisan tanah *compressible* saja, di mana pada setiap kasus di lapangan memiliki ketebalan tanah *compressible* yang beragam (berbeda – beda). Selain masing-masing kasus di lapangan memiliki ketebalan tanah *compressible* yang berbeda-beda, beban yang direncanakan juga berbeda pula. Beban rencana yang dimaksudkan adalah beban timbunan dengan tinggi yang bervariasi sesuai perencanaan. Tinggi timbunan direncanakan berdasarkan elevasi yang akan dicapai atau elevasi tinggi banjir pada lokasi yang akan direncanakan.

Berdasarkan MDPJ (Manual Desain Perkerasan Jalan) tahun 2017, pada tinggi timbunan lebih dari 2 m kemiringan timbunannya tidak boleh kurang dari 1V:3H. Jika tinggi timbunan kurang dari 2 m maka kemiringan 1V:2H dapat di-

terima atas persetujuan Direksi Pekerjaan. Oleh karena itu, untuk tetap menggunakan kemiringan 1V:2H pada tinggi timbunan > 3 m maka perlu dilakukan analisis stabilitas timbunan oleh tenaga ahli geoteknik [2]. Analisis stabilitas timbunan nantinya akan menghasilkan perkuatan yang diaplikasikan pada timbunan.

Pemampatan konsolidasi yang terjadi pada tanah lunak berlangsung sangat lambat, semakin tebal lapisan tanah lunak maka semakin lama waktu pemampatan konsolidasi begitu pula sebaliknya. Oleh sebab itu, sering dilakukan pemasangan *vertical drain* untuk memperpendek *drainage path* dari air pori yang akan mengalir keluar sehingga dapat mempercepat waktu pemampatan konsolidasi. Sebagai akibat terjadinya pemampatan konsolidasi pada suatu lapisan tanah, maka la_pisan tanah yang bersangkutan menjadi lebih padat yang berarti kekuatan atau daya dukung tanah juga meningkat sebagai akibat kenaikan harga C_u (*undrained shear strength*) [3]. Setelah mengetahui besar pemampatan dan kenaikan harga C_u (*undrained shear strength*) maka perencanaan perkuatan tanah dapat dilakukan dengan analisis stabilitas timbunan menggunakan program bantu XSTABL atau yang lainnya dengan asumsi seperti ditunjukkan pada **Gambar 1** [4],



Gambar 1. Pembagian Zona Kekuatan Tanah [5]

di mana zona A = tanah dalam kondisi masih asli ($C_u = C_{u\text{ asli}}$); zona B = zona transisi (C_u dianggap = $\frac{C_{uA} + C_{uC}}{2}$); zona C = tanah yang dianggap terkonsolidasi di bawah timbunan ($C_u = C_{u\text{ baru}}$). Hasil analisis stabilitas timbunan dijadikan acuan dalam perhitungan untuk mengetahui berapa banyak kebutuhan perkuatan, misalnya berapa lembar kebutuhan *geotextile* untuk meningkatkan stabilitas pada suatu tanah timbunan. Parameter yang mempengaruhi hasil pemasangan *geotextile* sebagai bahan perkuatan pada tanah adalah jumlah lembar atau lapis *geotextile* yang digunakan [6].

Penggunaan *geotextile* yang paling umum selain sebagai perkuatan tanah timbunan yaitu sebagai stabilisasi tanah dasar [7]. Pengaplikasian *geotextile* memberi pengaruh terhadap kondisi tanah dasar. Penurunan pada tanah dasar akan lebih kecil apabila *geotextile* diaplikasikan [8].

Pemasangan *geotextile* sendiri juga merupakan alternatif yang sangat tepat untuk mengatasi kelongsoran yang terjadi dan sebagai filtrasi [9]. Selain itu pada beberapa kasus di lapangan, material *geotextile* digunakan sebagai separator sehingga pada saat pekerjaan penimbunan badan jalan tidak terjadi pencampuran material tanah dasar yang berbutir halus dengan material timbunan yang berbutir kasar [10]. Penelitian mengenai kenaikan nilai SF akibat pengaruh pemasangan *geotextile* juga sudah banyak dilakukan salah satunya menggunakan program bantu Plaxis 2D, hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya penggunaan *geotextile* penurunan yang terjadi pada timbunan dengan perkuatan *geotextile* semakin kecil dan nilai angka keamanan yang diperoleh melebihi batas minimum nilai angka keamanan izin [11].

Oleh karena itu, untuk mempelajari adanya pengaruh pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dan variasi tinggi timbunan terhadap stabilitas suatu tanah timbunan, maka perlu dilakukan analisis kebutuhan perkuatan *geotextile* untuk tinggi timbunan badan jalan yang bervariasi di atas tanah lunak pada kondisi sebelum (tanpa pemasangan PVD) dan setelah (dengan pemasangan PVD) terjadi pemampatan konsolidasi.

2. Metode

Pengumpulan Data

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan ITS. Data sekunder tersebut berupa data pengujian tanah di lapangan dan di laboratorium. Data-data tersebut nantinya akan digunakan sebagai petunjuk (*guidance*) ketika menentukan nilai – nilai parameter tanah untuk melengkapi data tanah yang akan digunakan dalam penelitian.

Analisis Data

Tahap analisis dilakukan pada data parameter tanah yang sudah dibuat berdasarkan acuan data tanah yang diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan ITS. Terdapat pula beberapa data parameter tanah yang didapatkan menggunakan rumusan empiris seperti parameter nilai C_u (*cohesion undrained*), C_c (*compression index*), dan C_s (*swelling index*) [12], [13]. Analisis stabilitas timbunan dilakukan dengan menggunakan program bantu XSTABL untuk mendapatkan nilai SF (*Safety Factor*) dan *Moment Resistance* pada masing–masing bidang kelongsoran. Nilai SF dan *Moment Resistance* digunakan untuk memperoleh berapa banyak lembar *geotextile* yang dibutuhkan.

Pemodelan pada XSTABL dilakukan dengan memvariasikan tinggi timbunan yaitu 4 m, 8 m, dan 12 m, lebar

puncak timbunan yaitu 7 m, 9 m, 11 m, dan 13 m, sedangkan untuk ketebalan lapisan tanah *compressible* divariasikan 10 m, 20 m, dan 30 m. Setelah dilakukan pemodelan dan analisis dengan program bantu XSTABL pada kondisi dengan dan tanpa pemasangan PVD, yang mana dengan pemasangan PVD pemodelan harus dilakukan berdasarkan pembagian zona kekuatan tanah maka dapat direncanakan kebutuhan jumlah perkuatannya.

Pada perhitungan perencanaan kebutuhan jumlah perkuatan *geotextile* dilakukan dengan menggunakan T_{ult} yang bervariasi yaitu 50 kN, 100 kN, 150 kN, dan 300 kN untuk mengetahui pengaruh variasi tinggi timbunan terhadap kebutuhan T_{ult} *geotextile*, sehingga nantinya perencana yang akan menggunakan hasil penelitian ini dapat memilih sesuai dengan kuat tarik maksimum yang diinginkan atau direncanakan.

Pembuatan Grafik

Hasil analisis data kemudian diolah untuk menghasilkan suatu model hubungan antara $H_{timbunan}$ dan kebutuhan jumlah lembar *geotextile* yang kuat tarik maksimumnya divariasikan. Selain itu, sebagai alternatif lainnya akan didapatkan persamaan dari masing-masing kurva pada grafik tersebut. Program bantu yang digunakan adalah program bantu Excel yang mana dengan memunculkan *trendline* akan didapatkan persamaannya.

Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil yang didapatkan pada tahap analisis. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran lebih jelas mengenai pengaruh pemasangan PVD dan variasi tinggi timbunan terhadap kebutuhan jumlah *geotextile* beserta mutunya (T_{ult}).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Running XSTABL Kondisi Tanpa Pemasangan PVD

Data tanah dasar yang dimasukkan ke dalam program bantu XSTABL adalah data tanah asli. Nilai C_u , berat volume (γ), dan sudut geser dalam (ϕ) masing-masing lapisan tanah dasar berdasarkan data asli. Pada saat melakukan pemodelan pada program bantu XSTABL akan didapatkan nilai *safety factor* terkecil dan nilai *radius* terbesar beserta masing-masing bidang kelongsorannya, di mana kondisi tersebut adalah kondisi paling kritis untuk masing-masing *initiation-termination*. Variasi *initiation-termination* dilakukan sebanyak 10 kali yang mana jumlah tersebut sudah diperkirakan dapat menggambarkan semua kemungkinan kelongsoran yang terjadi, sehingga didapatkan 20 bidang kelongsoran dengan 10 SF terkecil dan 10 radius terdalam seperti contoh

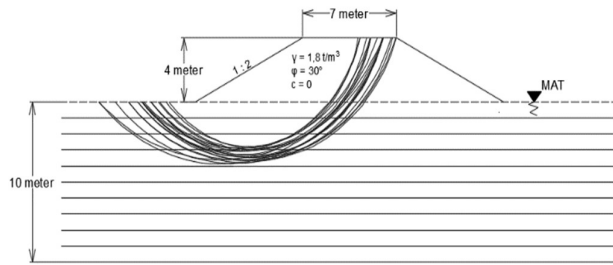
pada **Tabel 1**. Hal tersebut dilakukan pada masing-masing variasi pada penelitian ini. Dari 20 bidang kelongsoran tersebut direncanakan perkuatan *geotextilnya*, sehingga masing-masing akan menghasilkan kebutuhan jumlah lembar *geotextile* dan akan didapatkan jumlah lembar yang terbanyak untuk dipilih sebagai alternatif perkuatan.

Tabel 1. Output XSTABL Untuk $H_{tanah\ compressible} = 10\ m$, $H_{timbunan} = 4\ m$, dan $B_{timbunan} = 7\ m$ tanpa Pemasangan PVD

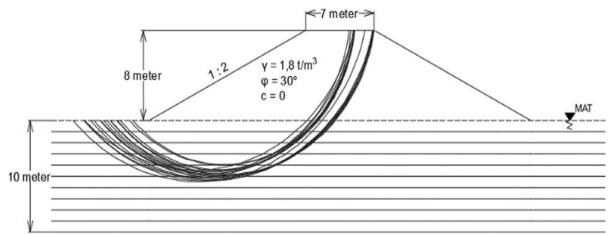
No. Initiation - Termination	FOS BISHOP	$B_{timbunan} = 7\ meter$				Moment Resistance kNm
		Circle	Center	Radius	m	
		x-cord	y-coord			
m	m	m				
1	1.048	13.6	17.9	11.67	3.562E+03	
	1.106	11.88	18.74	12.62	4.081E+03	
2	1.024	14.06	16.18	9.22	2.235E+03	
	1.035	14.22	16.85	10.2	2.743E+03	
3	1.05	13.31	17.64	11.29	3.335E+03	
	1.121	11.92	19.75	13.36	4.332E+03	
4	1.02	13.99	15.51	8.3	1.827E+03	
	1.041	13.3	17.47	10.36	2.630E+03	
5	1.03	12.83	16.77	9.86	2.505E+03	
	1.044	14.32	17.62	11.29	3.339E+03	
6	1.04	13.85	17.18	10.63	2.971E+03	
	1.064	12.79	18.09	11.94	3.728E+03	
7	1.026	13.37	16.29	9.2	2.176E+03	
	1.046	13.65	18.03	11.09	3.000E+03	
8	1.04	13.43	16.76	10.05	2.662E+03	
	1.046	14.09	17.91	11.55	3.453E+03	
9	1.024	14.52	15.84	8.75	2.016E+03	
	1.043	14.55	17.18	10.66	2.992E+03	
10	1.016	14	16.03	8.99	2.109E+03	
	1.039	13.86	17.16	10.63	2.976E+03	

Jika contoh *output* XSTABL pada **Tabel 1** diilustrasikan untuk menggambarkan bidang kelongsorannya maka dapat dilihat secara visual bahwa maksimum kedalaman bidang longsor yang terjadi tidak melebihi atau sama dengan tinggi timbunan di atasnya. Hal tersebut ditunjukkan seperti pada **Gambar 2**, **Gambar 3**, dan **Gambar 4**, di mana untuk $H_{tanah\ compressible} = 10\ m$, $H_{timbunan} = 4\ m$, dan $B_{timbunan} = 7\ m$ maksimum kedalaman bidang kelongsoran ada pada $H_{tanah\ compressible} = 4\ m$; untuk $H_{tanah\ compressible} = 10\ m$, $H_{timbunan} = 4\ m$, dan $B_{timbunan} = 7\ m$ maksimum kedalaman bidang kelongsoran ada pada $H_{tanah\ compressible} = 6\ m$; $H_{tanah\ compressible} = 20\ m$, $H_{timbunan} =$

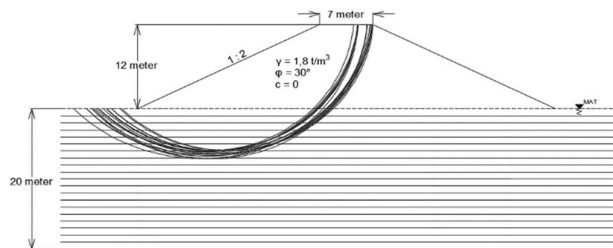
12 m, dan $B_{\text{timbunan}} = 7$ m maksimum kedalaman bidang kelongsoran ada pada $H_{\text{tanah compressible}} = 8$ m.



Gambar 2. Ilustrasi Bidang Kelongsoran untuk $H_{\text{tanah compressible}} = 10$ m, $H_{\text{timbunan}} = 4$ m, dan $B_{\text{timbunan}} = 7$ m tanpa Pemasangan PVD



Gambar 3. Ilustrasi Bidang Kelongsoran untuk $H_{\text{tanah compressible}} = 10$ m, $H_{\text{timbunan}} = 8$ m, dan $B_{\text{timbunan}} = 7$ m tanpa Pemasangan PVD



Gambar 4. Ilustrasi Bidang Kelongsoran untuk $H_{\text{tanah compressible}} = 20$ m, $H_{\text{timbunan}} = 12$ m, dan $B_{\text{timbunan}} = 7$ m tanpa Pemasangan PVD

Hasil Running XSATBL Kondisi Dengan Pemasangan PVD

Pada kondisi dengan pemasangan PVD, data tanah dasar yang dimasukkan ke dalam program bantu XSTABL perlu diperhatikan. Terdapat pembagian zona kekuatan tanah akibat konsolidasi dengan adanya pemasangan PVD. Zonasi nilai C_u yang dimasukkan ke dalam program bantu berdasarkan Gambar 1. Untuk mendapatkan nilai C_u pada tanah dasar memakai persamaan 1-7 [12].

Zona A: $C_u = C_u$ asli (1)

Zona B: $C_u = \frac{C_{uA} + C_{uC}}{2}$ (2)

Zona C: $C_u = C_u$ baru (3)

di mana C_u baru:

- Untuk harga *Plasticity Index* (PI) < 100%
 C_u (kg/cm²) = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016 PI) x σ' (4)

- Untuk harga *Plasticity Index* (PI) > 100%
 C_u (kPa) = 7.37 + (0.1899 - 0.0016 PI) x σ' (5)

- Untuk harga *Plasticity Index* (PI) < 100%
 C_u (kg/cm²) = 0.0737 + (0.0454 - 0.00004 PI) x σ' (6)

- Untuk harga *Plasticity Index* (PI) > 100%
 C_u (kPa) = 7.37 + (0.0454 - 0.00004 PI) x σ' (7)

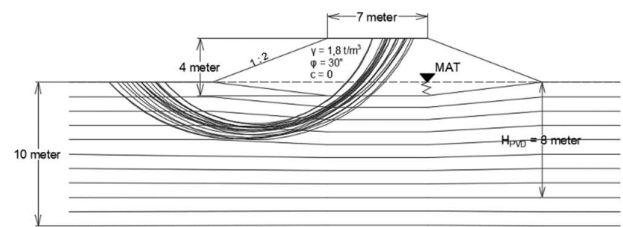
Keterangan:

C_u = daya dukung (kg/cm²)

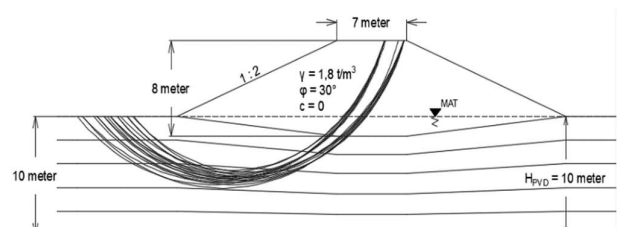
PI = indeks plastisitas tanah

σ' = tegangan yang terjadi pada lapisan tanah (kg/cm²) atau (kPa) = $\sigma + \Delta\sigma$

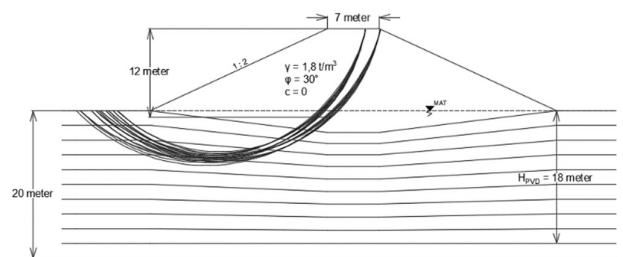
Pemodelan dan *output* pada program bantu XSTABL kondisi dengan pemasangan PVD seperti pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 untuk beberapa contoh variasi.



Gambar 5. Ilustrasi Bidang Kelongsoran Untuk $H_{\text{tanah compressible}} = 10$ m, $H_{\text{awal timbunan}} = 4$ m, dan $B_{\text{timbunan}} = 7$ m Dengan Pemasangan PVD



Gambar 6. Ilustrasi Bidang Kelongsoran untuk $H_{\text{tanah compressible}} = 10$ m, $H_{\text{awal timbunan}} = 8$ m, dan $B_{\text{timbunan}} = 7$ m dengan Pemasangan PVD



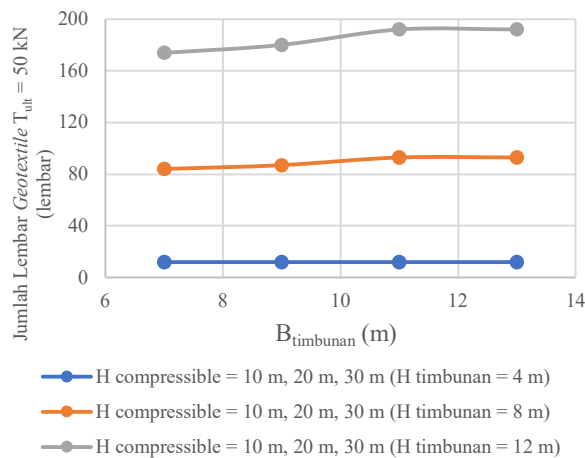
Gambar 7. Ilustrasi Bidang Kelongsoran untuk $H_{\text{tanah compressible}} = 20$ m, $H_{\text{awal timbunan}} = 12$ m, dan $B_{\text{timbunan}} = 7$ m dengan Pemasangan PVD

Hasil Perencanaan Kebutuhan Jumlah Geotextile

Pada perencanaan awal kebutuhan jumlah *geotextile* digunakan kuat tarik maksimum ($T_{ult} = 50 \text{ kN}$) untuk semua kondisi dan variasi. Perencanaan *geotextile* dilakukan untuk semua *initiation – termination* pada semua variasi. Rekapitulasi hasil perencanaan kebutuhan *geotextile* dapat dilihat pada **Tabel 2** untuk kondisi tanpa pemasangan PVD dan **Tabel 3** untuk kondisi dengan pemasangan PVD. Dapat dilihat pada kedua tabel tersebut bahwa kebutuhan jumlah *geotextile* pada kondisi tanpa pemasangan PVD lebih banyak daripada kondisi dengan pemasangan PVD. Kebutuhan jumlah perkuatan *geotextile* pada variasi ketebalan lapisan *compressible* adalah sama. Kebutuhan jumlah perkuatan *geotextile* pada variasi lebar puncak timbunan tidak terlalu signifikan perbedaannya, sedangkan kebutuhan jumlah perkuatan *geotextile* pada variasi $H_{timbunan}$ sangat signifikan perbedaannya.

Hubungan $H_{timbunan}$, $B_{timbunan}$, $H_{compressible}$ dan Kebutuhan Jumlah Geotextile

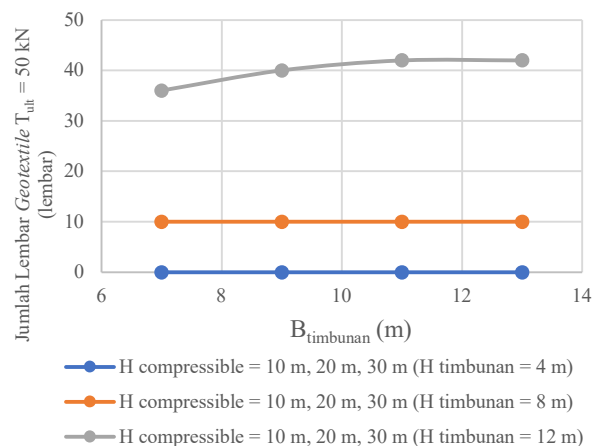
Berdasarkan **Tabel 2** dan **Tabel 3** dapat diambil kesimpulan bahwa yang paling berpengaruh terhadap kebutuhan jumlah *geotextile* adalah $H_{timbunan}$. Oleh karena itu, untuk dapat memperlihatkan seberapa besar pengaruh $H_{timbunan}$ maka dibuat hubungan antara $B_{timbunan}$ dan kebutuhan jumlah *geotextile* dengan variasi $H_{timbunan}$ kondisi dengan dan tanpa pemasangan PVD berturut – turut seperti pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**. Persamaan dari kurva pada grafik tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.



Gambar 8. Hubungan $B_{timbunan}$ Dengan Jumlah Lembar *Geotextile* Kondisi Tanpa Pemasangan PVD

Berdasarkan **Gambar 8** dan **Gambar 9** beserta persamaan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** dapat diambil kesimpulan kecil bahwa pada kondisi dengan dan tanpa pemasangan PVD,

variasi $H_{compressible}$ tidak mempengaruhi jumlah kebutuhan lembar *geotextile*, hal ini ditunjukkan dengan jumlah lembar kebutuhan *geotextile* pada $H_{compressible}$ 10 m, 20 m, 30 m adalah sama. Hubungan $B_{timbunan}$ dengan jumlah lembar *geotextile* naik secara linier dan cenderung konstan pada kondisi tertentu. Pada penelitian ini ketika $B_{timbunan} \geq 11 \text{ m}$ kebutuhan perkuatan *geotextile* didapatkan jumlah yang sama. Hal tersebut berlaku untuk kondisi tanpa maupun dengan pemasangan PVD. Sedangkan, hubungan $H_{timbunan}$ dengan jumlah lembar *geotextile* untuk semua variasi pada kondisi dengan dan tanpa pemasangan PVD menggambarkan hal yang sama yaitu tingginya $H_{timbunan}$ sangat mempengaruhi kebutuhan jumlah lembar *geotextile*, semakin tinggi $H_{timbunan}$ maka jumlah lembar *geotextile* yang dibutuhkan semakin banyak.



Gambar 9. Hubungan $B_{timbunan}$ Dengan Jumlah Lembar *Geotextile* Kondisi Dengan Pemasangan PVD

Hubungan $H_{timbunan}$ dan Kebutuhan Lembar Geotextile Dengan T_{ult} yang Bervariasi

Pada penelitian ini, kebutuhan jumlah *geotextile* selain direncanakan pada kondisi T_{ult} minimum yaitu $T_{ult} = 50 \text{ kN}$, juga direncanakan dengan T_{ult} yang bervariasi yaitu 100 kN, 150 kN, dan 300 kN. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui batas T_{ult} yang dapat dipakai pada ketinggian timbunan tertentu. Batas T_{ult} yang dapat dipakai pada ketinggian timbunan tertentu dapat diketahui dengan melakukan pengecekan jumlah maksimum *geotextile*/m tinggi.

Jumlah maksimum *geotextile*/m tinggi tergantung dari jarak vertikal pemasangan *geotextile*.

$$S_v = 20 \text{ m} \rightarrow n \text{ maksimum/m tinggi} = H \times 5 \tag{8}$$

$$S_v = 25 \text{ m} \rightarrow n \text{ maksimum/m tinggi} = H \times 4 \tag{9}$$

Keterangan:

S_v = Jarak vertikal pemasangan *geotextile*

H = $H_{timbunan}$

Berikut adalah contoh perhitungannya:

Untuk, $H_{\text{timbunan}} = 12$ meter

Didapatkan jumlah lembar *geotextile*:

$T_{\text{ult}} = 50$ kN \rightarrow 174 lembar

$T_{\text{ult}} = 100$ kN \rightarrow 87 lembar

$T_{\text{ult}} = 150$ kN \rightarrow 58 lembar

$T_{\text{ult}} = 300$ kN \rightarrow 29 lembar

di mana:

$S_v = 20$ m \rightarrow n maksimum/12 m = 12 x 5 = 60 lembar

$S_v = 25$ m \rightarrow n maksimum/12 m = 12 x 4 = 48 lembar

Maka, dapat disimpulkan bahwa T_{ult} yang dapat digunakan untuk $H_{\text{timbunan}} = 12$ meter adalah:

$T_{\text{ult}} = 150$ kN (58 lembar) dengan $S_v = 20$ m

$T_{\text{ult}} = 300$ kN (29 lembar) dengan $S_v = 20$ m dan $S_v = 25$ m

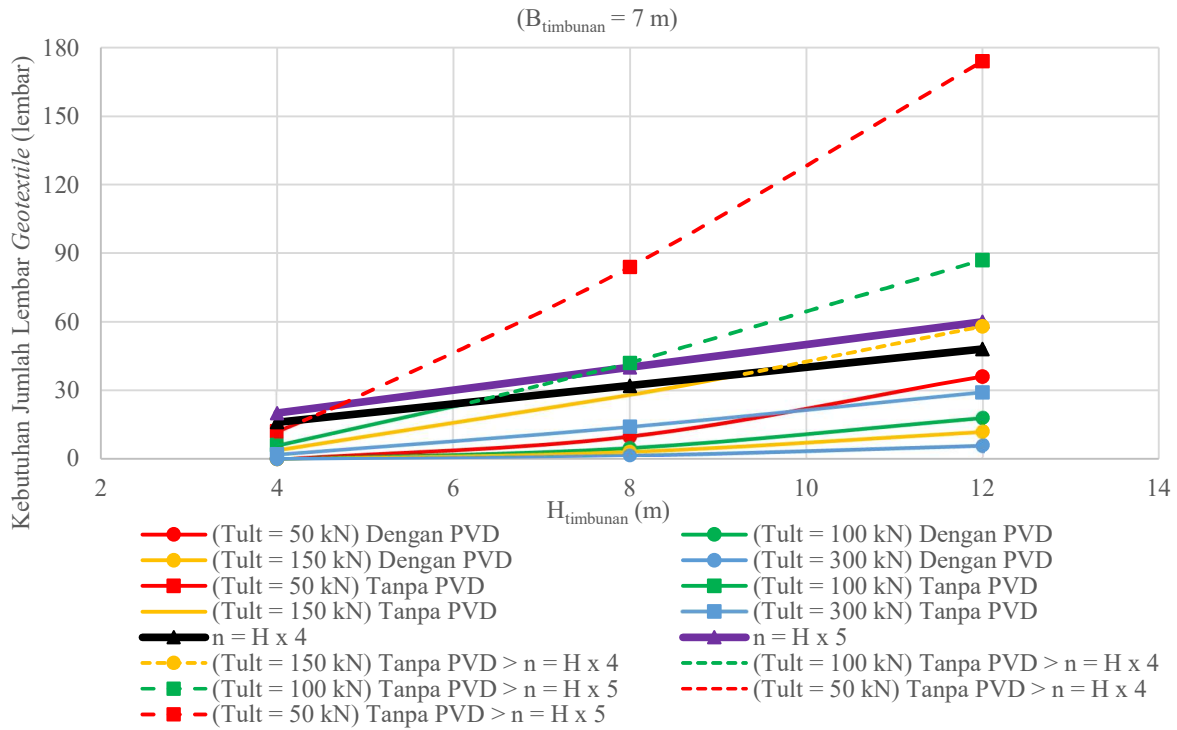
Rekapitulasi hasil perencanaan dengan berbagai variasi T_{ult} untuk kondisi tanpa pemasangan PVD dilihat pada **Tabel 6** sampai dengan **Tabel 8** dan dengan pemasangan PVD pada **Tabel 9** sampai dengan **Tabel 11**. Hasil dari perencanaan ini diinterpretasikan pada sebuah hubungan H_{timbunan} dengan kebutuhan jumlah *geotextile* seperti pada **Gambar 10**, **Gambar 11**, dan **Gambar 12** beserta persamaannya pada **Tabel 12** sampai dengan **Tabel 14**.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perencanaan Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Tanpa Pemasangan PVD

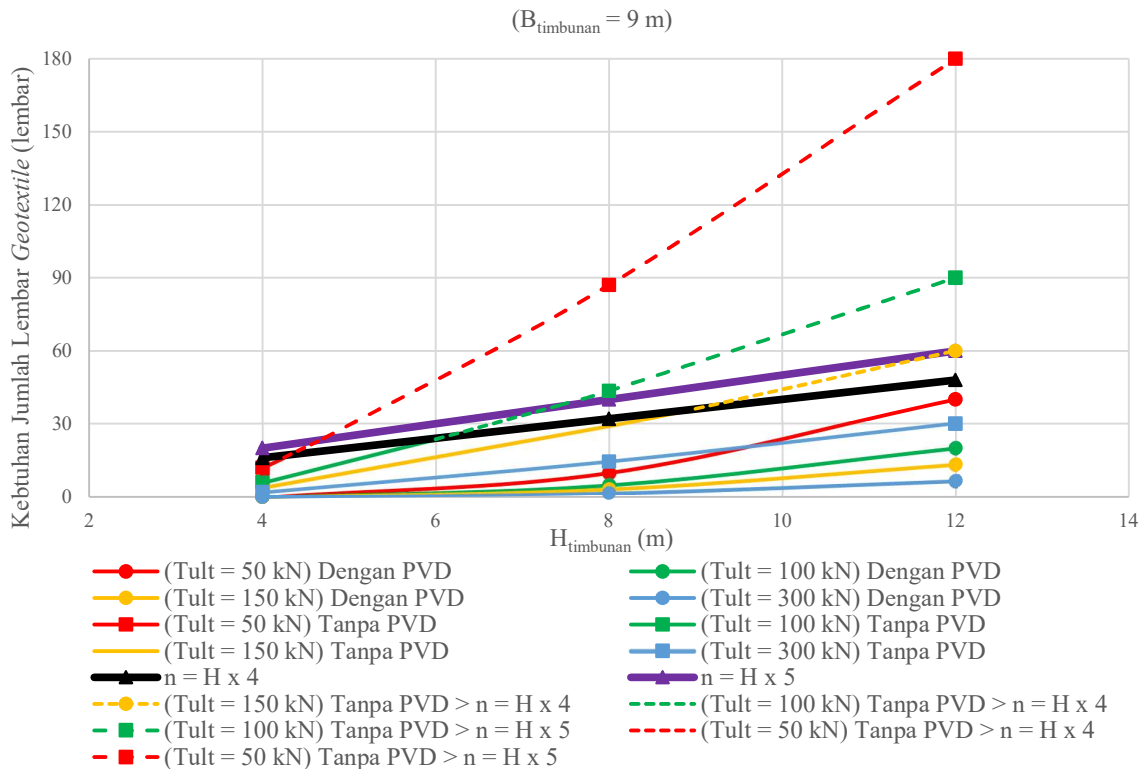
B_{timbunan}	H_{timbunan}	$H_{\text{compressible}} = 10$ m	$H_{\text{compressible}} = 20$ m	$H_{\text{compressible}} = 30$ m
		Jumlah Lembar <i>Geotextile</i> ($T_{\text{ult}} = 50$ kN)	Jumlah Lembar <i>Geotextile</i> ($T_{\text{ult}} = 50$ kN)	Jumlah Lembar <i>Geotextile</i> ($T_{\text{ult}} = 50$ kN)
m	m	lembar	lembar	lembar
7	4	12	12	12
7	8	84	84	84
7	12	174	174	174
9	4	12	12	12
9	8	87	87	87
9	12	180	180	180
11	4	12	12	12
11	8	93	93	93
11	12	192	192	192
13	4	12	12	12
13	8	93	93	93
13	12	192	192	192

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perencanaan Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Dengan Pemasangan PVD

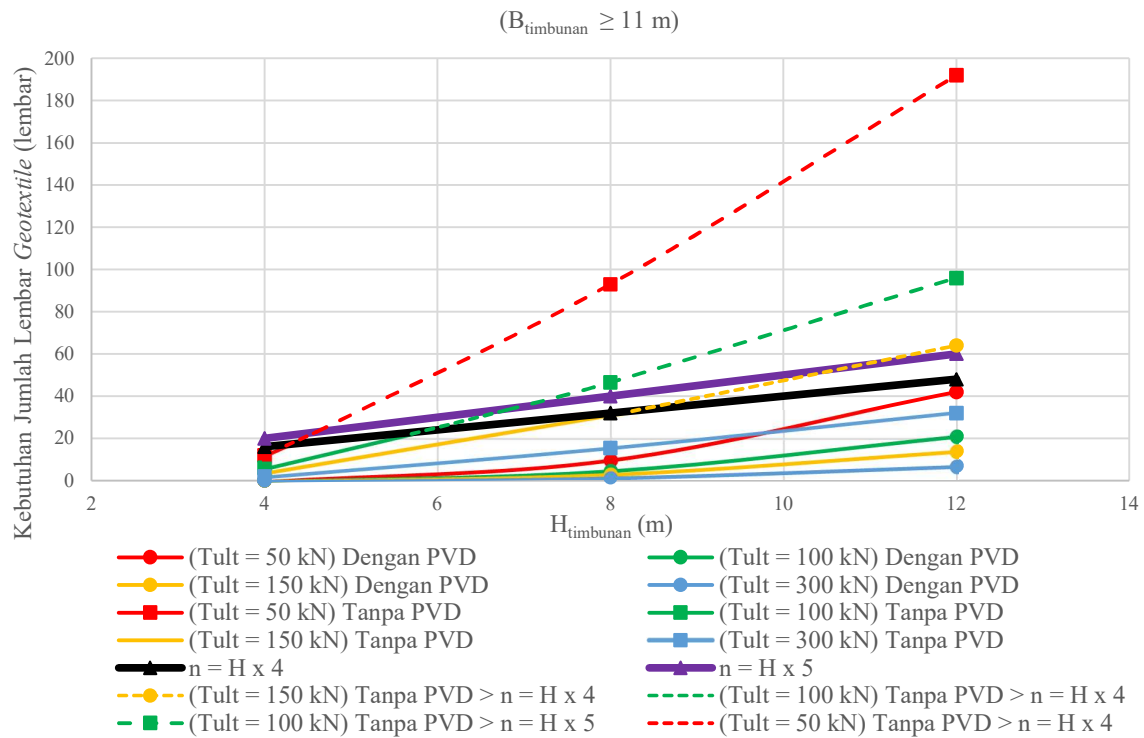
B_{timbunan}	H_{timbunan}	$H_{\text{compressible}} = 10$ m	$H_{\text{compressible}} = 20$ m	$H_{\text{compressible}} = 30$ m
		Jumlah Lembar <i>Geotextile</i> ($T_{\text{ult}} = 50$ kN)	Jumlah Lembar <i>Geotextile</i> ($T_{\text{ult}} = 50$ kN)	Jumlah Lembar <i>Geotextile</i> ($T_{\text{ult}} = 50$ kN)
m	m	lembar	lembar	lembar
7	4	0	0	0
7	8	10	10	10
7	12	36	36	36
9	4	0	0	0
9	8	10	10	10
9	12	40	40	40
11	4	0	0	0
11	8	10	10	10
11	12	42	42	42
13	4	0	0	0
13	8	10	10	10
13	12	42	42	42



Gambar 10. Hubungan H_{timbunan} VS Kebutuhan Jumlah Lembar Geotextile dengan T_{ult} yang Bervariasi ($B_{\text{timbunan}} = 7 \text{ m}$)



Gambar 11. Hubungan H_{timbunan} VS Kebutuhan Jumlah Lembar Geotextile dengan T_{ult} yang Bervariasi ($B_{\text{timbunan}} = 9 \text{ m}$)



Gambar 12. Hubungan H_{timbunan} VS Kebutuhan Jumlah Lembar Geotextile dengan T_{ult} yang Bervariasi ($B_{\text{timbunan}} \geq 11 \text{ m}$)

Tabel 4. Hubungan B_{timbunan} Dengan Jumlah Lembar Geotextile Kondisi Tanpa Pemasangan PVD

$H_{\text{compressible}}$	$H_{\text{awal timbunan}} = 4 \text{ meter}$		$H_{\text{awal timbunan}} = 8 \text{ meter}$	
	$B_{\text{timbunan}} = y, \text{ Kebutuhan Lembar Geotextile} = y$ ($T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$)		$B_{\text{timbunan}} = y, \text{ Kebutuhan Lembar Geotextile} = y$ ($T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$)	
(m)	(lembar)		(lembar)	
10			$y = 0.375 x^2 - 4.5 x + 97.125$	
20	$y = 12$		$x < 11$	
30			$y = 93$	
			$x \geq 11$	
$H_{\text{compressible}}$	$H_{\text{awal timbunan}} = 12 \text{ meter}$			
	$B_{\text{timbunan}} = y, \text{ Kebutuhan Lembar Geotextile} = y$ ($T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$)			
(m)	(lembar)			
10	$y = 0.75 x^2 - 9 x - 200.25$			
20	$x < 11$			
30	$y = 192$			
	$x \geq 11$			

Tabel 5. Hubungan B_{timbunan} Dengan Jumlah Lembar Geotextile Kondisi Dengan Pemasangan PVD

$H_{\text{compressible}}$	$H_{\text{awal timbunan}} = 4 \text{ meter}$		$H_{\text{awal timbunan}} = 8 \text{ meter}$	
	$B_{\text{timbunan}} = y, \text{ Kebutuhan Lembar Geotextile} = y$ ($T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$)		$B_{\text{timbunan}} = y, \text{ Kebutuhan Lembar Geotextile} = y$ ($T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$)	
(m)	(lembar)		(lembar)	
10				
20	$y = 0$		$y = 10$	
30				

$H_{\text{awal timbunan}} = 12 \text{ meter}$	
$H_{\text{compressible}}$	$B_{\text{timbunan}} = y$, Kebutuhan Lembar <i>Geotextile</i> = y ($T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$)
(m)	(lembar)
10	
20	$y = -0.25 x^2 + 6 x + 6.25$
30	

Tabel 6. Rekapitulasi Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Tanpa Pemasangan PVD ($B_{\text{timbunan}} = 7 \text{ m}$)

H_{timbunan} m	n maksimum		Kebutuhan Lembar <i>Geotextile</i> (n)			
	H x 4 lembar	H x 5 lembar	$T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 100 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 150 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 300 \text{ kN}$ lembar
4	16	20	12	6	4	2
8	32	40	84	42	28	14
12	48	60	174	87	58	29

Keterangan: *Geotextile* dengan T_{ult} yang tidak dapat digunakan, dikarenakan $n > n$ maksimum

Tabel 7. Rekapitulasi Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Tanpa Pemasangan PVD ($B_{\text{timbunan}} = 9 \text{ m}$)

H_{timbunan} m	n maksimum		Kebutuhan Lembar <i>Geotextile</i> (n)			
	H x 4 lembar	H x 5 lembar	$T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 100 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 150 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 300 \text{ kN}$ lembar
4	16	20	12	6	4	2
8	32	40	87	44	29	15
12	48	60	180	90	60	30

Keterangan: *Geotextile* dengan T_{ult} yang tidak dapat digunakan, dikarenakan $n > n$ maksimum

Tabel 8. Rekapitulasi Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Tanpa Pemasangan PVD ($B_{\text{timbunan}} \geq 11 \text{ m}$)

H_{timbunan} m	n maksimum		Kebutuhan Lembar <i>Geotextile</i> (n)			
	H x 4 lembar	H x 5 lembar	$T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 100 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 150 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 300 \text{ kN}$ lembar
4	16	20	12	6	4	2
8	32	40	93	47	31	16
12	48	60	192	96	64	32

Keterangan: *Geotextile* dengan T_{ult} yang tidak dapat digunakan, dikarenakan $n > n$ maksimum

Tabel 9. Rekapitulasi Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Dengan Pemasangan PVD ($B_{\text{timbunan}} = 7 \text{ m}$)

H_{timbunan} m	n maksimum		Kebutuhan Lembar <i>Geotextile</i> (n)			
	H x 4 lembar	H x 5 lembar	$T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 100 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 150 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 300 \text{ kN}$ lembar
4	16	20	0	0	0	0
8	32	40	10	5	3	2
12	48	60	36	18	12	6

Tabel 10. Rekapitulasi Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Dengan Pemasangan PVD ($B_{\text{timbunan}} = 9 \text{ m}$)

H_{timbunan} m	n maksimum		Kebutuhan Lembar <i>Geotextile</i> (n)			
	H x 4 lembar	H x 5 lembar	$T_{\text{ult}} = 50 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 100 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 150 \text{ kN}$ lembar	$T_{\text{ult}} = 300 \text{ kN}$ lembar
4	16	20	0	0	0	0
8	32	40	10	5	3	2
12	48	60	40	20	13	7

Tabel 11. Rekapitulasi Kebutuhan Jumlah *Geotextile* Kondisi Dengan Pemasangan PVD ($B_{\text{timbunan}} \geq 11$ m)

H_{timbunan}	n maksimum		Kebutuhan Lembar <i>Geotextile</i> (n)			
	H x 4	H x 5	$T_{\text{ult}} = 50$ kN	$T_{\text{ult}} = 100$ kN	$T_{\text{ult}} = 150$ kN	$T_{\text{ult}} = 300$ kN
m	lembar	lembar	lembar	lembar	lembar	lembar
4	16	20	0	0	0	0
8	32	40	10	5	3	2
12	48	60	42	21	14	7

Tabel 12. Persamaan Kebutuhan Jumlah *Geotextile* ($B_{\text{timbunan}} = 7$ m)

T_{ult} <i>Geotextile</i>	Kondisi	Persamaan							
		$H_{\text{timbunan}} = x$, Kebutuhan <i>Geotextile</i> = y							
kN		Lembar							
50	Tanpa PVD	y =	0.5625	x^2	+	11.25	x	-	42
	Dengan PVD	y =	0.5	x^2	-	3.5	x	+	6
100	Tanpa PVD	y =	0.2183	x^2	+	5.625	x	-	21
	Dengan PVD	y =	0.25	x^2	-	1.75	x	+	3
150	Tanpa PVD	y =	0.1875	x^2	+	3.75	x	-	14
	Dengan PVD	y =	0.1667	x^2	-	1.1667	x	+	2
300	Tanpa PVD	y =	0.0938	x^2	+	1.875	x	-	7
	Dengan PVD	y =	0.0833	x^2	-	0.5833	x	+	1

Tabel 13. Persamaan Kebutuhan Jumlah *Geotextile* ($B_{\text{timbunan}} = 9$ m)

T_{ult} <i>Geotextile</i>	Kondisi	Persamaan							
		$H_{\text{timbunan}} = x$, Kebutuhan <i>Geotextile</i> = y							
kN		Lembar							
50	Tanpa PVD	y =	0.5625	x^2	+	12	x	-	45
	Dengan PVD	y =	0.625	x^2	-	5	x	+	10
100	Tanpa PVD	y =	0.2183	x^2	+	6	x	-	22.5
	Dengan PVD	y =	0.3125	x^2	-	2.5	x	+	5
150	Tanpa PVD	y =	0.1875	x^2	+	4	x	-	15
	Dengan PVD	y =	0.2083	x^2	-	1.66667	x	+	3.3333
300	Tanpa PVD	y =	0.0938	x^2	+	2	x	-	7.5
	Dengan PVD	y =	0.1042	x^2	-	0.8333	x	+	1.6667

Tabel 14. Persamaan Kebutuhan Jumlah *Geotextile* ($B_{\text{timbunan}} \geq 11$ m)

T_{ult} <i>Geotextile</i>	Kondisi	Persamaan							
		$H_{\text{timbunan}} = x$, Kebutuhan <i>Geotextile</i> = y							
kN		Lembar							
50	Tanpa PVD	y =	0.5625	x^2	+	13.5	x	-	51
	Dengan PVD	y =	0.6875	x^2	-	5.75	x	+	12
100	Tanpa PVD	y =	0.2183	x^2	+	6.75	x	-	25.5
	Dengan PVD	y =	0.3438	x^2	-	2.25	x	+	6
150	Tanpa PVD	y =	0.1875	x^2	+	4.5	x	-	17
	Dengan PVD	y =	0.2292	x^2	-	1.9167	x	+	4
300	Tanpa PVD	y =	0.0938	x^2	+	2.25	x	-	8.5
	Dengan PVD	y =	0.1146	x^2	-	0.9583	x	+	2

Berdasarkan Tabel 6 – 11 dan Gambar 10 – 12 didapatkan bahwa untuk B_{timbunan} 7 m dan 9 m kondisi tanpa pema-

sangan PVD, *geotextile* dengan T_{ult} 50 kN – 300 kN dapat digunakan pada ketinggian timbunan 4 meter, sedangkan

pada ketinggian timbunan 8 m dan 12 m hanya dapat menggunakan *geotextile* dengan $T_{ult} \geq 150$ kN. Begitu pula untuk $B_{timbunan} \geq 11$ m kondisi tanpa pemasangan PVD, pada $H_{timbunan}$ 4 m dapat menggunakan *geotextile* dengan T_{ult} 50 – 300 kN, $H_{timbunan}$ 8 m dapat menggunakan *geotextile* dengan $T_{ult} \geq 150$ kN, dan $H_{timbunan}$ 12 m hanya dapat menggunakan *geotextile* minimal dengan T_{ult} 300 kN.

Pada kondisi dengan pemasangan PVD untuk semua variasi $B_{timbunan}$ dan $H_{timbunan}$ didapatkan bahwa *geotextile* dengan mutu minimum yaitu T_{ult} 50 kN sudah dapat digunakan.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Kebutuhan jumlah perkuatan *geotextile* pada kondisi dengan pemasangan PVD lebih sedikit daripada tanpa pemasangan PVD hal tersebut disebabkan adanya peningkatan kekuatan atau daya dukung tanah sebagai akibat pemasangan PVD sehingga terjadi kenaikan harga C_u (*undrained shear strength*).
2. Hubungan antara $H_{timbunan}$ dengan kebutuhan jumlah *geotextile* menunjukkan korelasi secara linier, dalam arti seiring dengan bertambahnya ketinggian timbunan maka kebutuhan jumlah perkuatan *geotextile* semakin banyak.
3. Pada kondisi tanpa pemasangan PVD pemakaian *geotextile* dengan T_{ult} tertentu harus diperhatikan. Semakin tinggi $H_{timbunan}$ maka T_{ult} *geotextile* yang digunakan akan semakin besar, dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa $T_{ult} \geq 50$ kN dapat digunakan pada ketinggian timbunan 4 meter, sedangkan pada ketinggian timbunan 8 – 12 m dapat digunakan adalah *geotextile* dengan $T_{ult} \geq 150$ kN.
4. Berbeda dengan kondisi tanpa pemasangan PVD, pada kondisi dengan pemasangan PVD didapatkan hasil bahwa penggunaan *geotextile* dengan $T_{ult} \geq 50$ kN pada semua variasi tinggi timbunan masih memenuhi syarat n maksimum/m tinggi = $H \times 4$ untuk $S_v = 25$ cm dan n maksimum/m tinggi = $H \times 5$ untuk $S_v = 20$ cm.

Daftar Pustaka

- [1] A. Prasetyo and A. Prihatiningsih, "Analisis Penggunaan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD) pada Tanah Lempung Lunak yang Terdapat Lapisan Lensa," *J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 119-134, Feb. 2020.
- [2] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Manual Desain Perkerasan Jalan," Jakarta *Kementeri. Pekerj. Umum*, 2017.
- [3] H. Widhiarto, L. E. Fatmawati, and M. Beatrix, "Pengaruh PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) Dalam Mempercepat Proses Konsolidasi Pada Konstruksi *Taxiway* Di Bandara Juanda Surabaya," *J. Hasil Penel. LPPM Untag Surabaya*, vol. 3, no. 2, pp. 74-82, Jan. 2018.
- [4] I. B. Mochtar, *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, 2002.
- [5] N. Endah, *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, 2012.
- [6] A. D. Isbusandi, M. Widiastuti, and H. Sutanto, "Analisis Pengaruh Penggunaan Geotekstil Terhadap Peningkatan Daya Dukung Fondasi Dangkal pada Tanah Lempung Di Kota Samarinda," *J. Tekno. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 1-9, Nov. 2018.
- [7] F. X. Ndale, "Penggunaan *Geotextile* Sebagai Bahan Bangunan," *J. Tekn. Univ. Flores*, vol. 6, no. 2, pp. 1-10, Oct. 2018.
- [8] D. Surachmat, H. Wijaya, and A. Kawanda, "Analisis Penurunan Tanah Dengan Menggunakan Geotekstil pada Timbunan," *J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 4, pp. 197-202, Nov. 2019.
- [9] N. Azizah, et. al., "Penggunaan Geotekstil pada Lereng Sungai Gajah Putih Surakarta," Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, 2014.
- [10] M. K. Z. Lubis and K. Lubis, "Evaluasi Perbaikan Tanah Menggunakan Geotekstil Untuk Meningkatkan Stabilitas Tanah Lapisan *Subgrade* Pekerjaan Jalan," *J. of Civ. Eng., Build. and Transp.*, vol. 3, no. 2, pp. 40-48, Sep. 2019.
- [11] P. A. Tay, "Analisis Perkuatan Geotekstil pada Timbunan Konstruksi Jalan dengan *Plaxis 2D*," Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, 2014.
- [12] M. D. Ardana and I. B. Mochtar, "Pengaruh Tegangan *Overburden* Efektif dan Plastisitas Tanah terhadap Kekuatan Geser *Undrained* Tanah Lempung Berkonsistensi Sangat Lunak Sampai Kaku yang Terkonsolidasi Normal," Surabaya: *Thesis* Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, 1999.
- [13] A. Kosasih and I. B. Mochtar, "Pengaruh Kadar Air, Angka Pori, dan Batas Cair Tanah Lempung Terhadap Indeks Pemampatan Konsolidasi C_c dan Indeks Pengembangan C_s ," Surabaya: *Thesis* Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, 1997.

Halaman ini sengaja dikosongkan