

Analisis Penggunaan Cerucuk sebagai *Soil Improvement* Pengganti *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* untuk Mempercepat Pelaksanaan Pekerjaan

Patrick Matheus^{1*}, Darwin Hartono²

¹Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Universitas Indraprasta PGRI

Jl. Nangka Raya No.58 C, RT.7/RW.5, Tj. Bar., Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, Jakarta, Indonesia 12530

Abstrak

Salah satu proyek jembatan di Kalimantan berdiri diatas tanah lunak (*soft soil*). Tanah lunak memiliki daya dukung yang kurang baik, kuat geser dan permeabilitas yang rendah serta kompresibilitas yang besar. Timbunan jalan pada proyek jembatan tersebut memerlukan waktu selama 310 bulan untuk mencapai konsolidasi 90%. Perencanaan awal untuk perbaikan tanah (*soil improvement*) menggunakan metode prefabrikasi drainase vertikal (*PVD*). Metode *PVD* dengan beban *preloading* memerlukan waktu 28 bulan untuk mencapai konsolidasi 90% atau daya dukung rencana. Pelaksanaan metode *PVD* sulit dilakukan pada lahan dengan akses yang kurang baik untuk kendaraan berat (*rig PVD*). Penelitian ini menganalisis penggunaan cerucuk dan geotekstil pada tanah dasar atau eksisting untuk mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan. Jumlah cerucuk di Kalimantan yang cukup berlimpah dan mudah dilakukan pengadaannya menjadi pertimbangan penggunaan metode perbaikan tanah ini. Hasil analisis dari penggunaan cerucuk dan geotekstil memberikan daya dukung yang baik terhadap beban rencana dengan faktor keamanan $\geq 1,3$. Pelaksanaan cerucuk dan timbunan membutuhkan waktu total pelaksanaan 7 bulan. Dengan demikian penggunaan cerucuk pada salah satu proyek jembatan di Kalimantan mengalami efisiensi waktu pengerjaan sebesar 75 persen dari rencana pengerjaan proyek menggunakan *PVD* selama 28 bulan.

Kata kunci: perbaikan tanah; prefabrikasi drainase vertikal; cerucuk; faktor keamanan; jembatan

Abstract

[Title: Analysis of Using Wooden Piles as Soil Improvement Replacement for PVD to Accelerate Project Implementation] One of the bridge projects in Kalimantan is located on soft soil. Soft soil has poor bearing capacity, low shear strength, low permeability, and high compressibility. The road embankment for the bridge project requires 310 months to achieve 90% consolidation. The initial plan for soil improvement was to use the prefabricated vertical drain (*PVD*) method. The *PVD* method with *preloading* requires 28 months to achieve 90% consolidation, or the planned bearing capacity. However, implementing the *PVD* method is challenging in areas with poor access to heavy equipment (*PVD rigs*). This study analyzes the use of piles and geotextiles on the existing foundation soil to accelerate the construction timeline. The abundance and easy procurement of piles in Kalimantan are considerations for using this soil improvement method. Analysis results show that using piles and geotextiles provides good bearing capacity for the design load with a safety factor of ≥ 1.3 . The total time required for pile installation and embankment construction is 7 months. Therefore, using piles on this bridge project in Kalimantan achieves 75% time efficiency compared to the 28-month project timeline using *PVD*.

Keywords: soil improvement; prefabricated vertical drain; wooden piles; safety factor; bridge

^{*}) Penulis Korespondensi.

E-mail: matheussiahaan@gmail.com

1. Pendahuluan

Pembangunan Jembatan di Kalimantan bertujuan untuk melaksanakan rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020-2024 yang

menghubungkan 2 desa dan kecamatan. Pembangunan *Jembatan* di Kalimantan ini bertujuan untuk mempermudah mobilitas baik barang (*logistic*) maupun orang antar 2 daerah. Mobilitas antar 2 daerah ini, sebelum dibangun *Jembatan* membutuhkan waktu 4 jam perjalanan darat (menggunakan mobil) dan 20 menit perjalanan sungai (dengan biaya 1 kali perjalanan sebesar Rp. 55.000,-). Besarnya biaya untuk mobilitas dan lamanya waktu perjalanan, menjadi tujuan *Jembatan* ini dibangun.

Kontrak awal Proyek *Jembatan* Kalimantan memiliki target panjang bentang sepanjang $\pm 2.566,87$ meter. Lokasi Proyek Pembangunan *Jembatan* di Kalimantan berada pada daerah dengan tipe tanah *soft soil*. Berdasar hasil *borelog* dan sondir, seta tabel konsistensi J.E. Bowles, 1984, kondisi tanah berada pada tipe *soft clay – stiff clay*.

Konsolidasi yang terjadi pada tanah lunak (*soft soil*) dapat memberikan dampak buruk bagi infrastruktur karena struktur dapat mengalami pergeseran atau *displacement* yang mengakibatkan kegagalan struktur. Potensi terjadinya konsolidasi pada *Jembatan* di Kalimantan ini cukup besar karena berada pada tipe tanah *soft-stiff clay* sehingga perlu dilakukan tindakan *soil improvement* pada struktur jalan-jembatan ini. Desain awal pada STA 2+375 – 3+250 berupa timbunan yang berada pada tanah eksisitng yang kemudian dilapisi *deck slab* dan ditutup aspal pada *top layer* (yang akan bersentuhan dengan roda kendaraan). Dalam perencanaan awal pada STA 2+375 – 3+250, tindakan *soil improvement* menggunakan metode PVD (PVD). *Soil improvement* ini menggunakan pipa *prefabricated* (berbentuk pipih seperti pita) yang dimasukkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Untuk mempercepat konsolidasi dan mengeluarkan air pori, digunakan beban *preloading* (berupa tanah timbunan) di bagian atasnya.

Desain awal yang menggunakan metode PVD mengalami kendala untuk diaplikasikan pada STA 2+375 – 3+250. Sulitnya akses alat berat berupa rig untuk masuk ke area ini menjadi salah satu kendala. alat rig yang besar dan berat dapat menyebabkan alat tersebut terperosok atau terbalik di area pekerjaan (area pekerjaan berupa perkebunan warga dan perkebunan sawit yang sering tergenang air). Alat rig PVD , pemasangannya tentu memerlukan landasan yang stabil.

Kendala lain, metode PVD (dengan beban *preloading* timbunan) memerlukan waktu tunggu dan waktu konsolidasi yang cukup lama untuk proses keluarnya air pori dan tercapainya konsolidasi rencana (yang mempengaruhi daya dukung untuk beban rencana).

Material PVD yang terdapat dalam spesifikasi perencanaan sulit untuk diadakan dari supplier-supplier lokal (*Indonesia*). Peraturan (Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 2, 2014) memberikan aturan main terkait material-material yang wajib memiliki Tingkat

Komponen Dalam Negeri. Material yang memiliki Tingkat Komponen Luar Negeri yang tinggi dijawabkan melalui proses dan alur yang cukup rumit sehingga memerlukan waktu yang cukup lama.

Penyelesaian terhadap kendala sulitnya akses rig, waktu konsolidasi yang cukup lama (untuk mencapai konsolidasi 90% memerlukan 28 bulan), serta proses import material PVD yang memakan waktu lama (Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 2, 2014), memerlukan solusi. Salah satu yang dapat dilakukan adalah penggantian metode PVD dengan metode penggunaan material cerucuk. Material cerucuk memiliki stock yang cukup melimpah di Kalimantan dan mudah dilaksanakan dengan alat berat yang ada. Menjadi pertimbangan dalam penulisan ini adalah menentukan kestabilan struktur jalan setelah pergantian metode ini. Penelitian ini menganalisis penggunaan cerucuk sebagai pengganti PVD untuk mempercepat pelaksanaan pekerjaan.

2. Metode dan Bahan

2.1 Konsolidasi

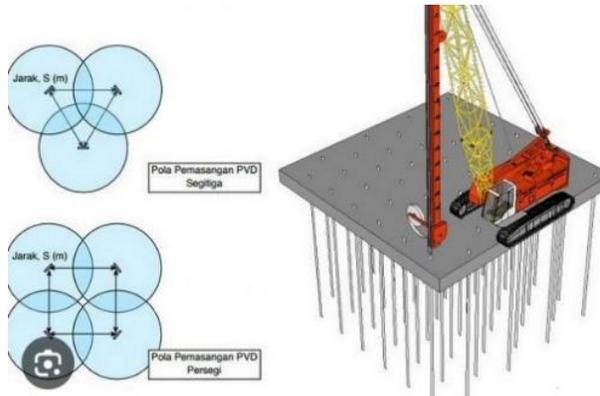
Konsolidasi tanah pada dasarnya bertujuan untuk meningkatkan kekuatan geser pada tanah, mengurangi kompresibilitas tanah, dan mencegah penurunan atau *settlement* yang besar serta kemungkinan kerusakan pada struktur bangunan. Konsolidasi umumnya digunakan pada tanah dengan daya dukung yang rendah seperti pada tanah lempung. Bila lapisan tanah jenuh permeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori dalam lapisan tersebut akan segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah mengakibatkan air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti dengan penurunan tanah. Oleh karena itu, konsolidasi juga dapat diartikan sebagai proses keluarnya air tanah akibat bekerjanya beban, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah. Proses ini terus berlangsung sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total benar-benar hilang. Kasus konsolidasi satu dimensi merupakan kasus yang paling sederhana, dimana kondisi regangan lateral nol mutlak ada. (Das dan Sobhan, 2018)

2.2 Konsolidasi dengan drainase vertikal (PVD)

Teori untuk konsolidasi vertikal drain pertama kali diperkenalkan oleh Barron (1948). Pada dasarnya teori ini adalah lanjutan dari teori satu dimensi (Terzaghi, 1943). Konsolidasi dengan PVD metode yang sering digunakan pada proyek untuk mempercepat waktu konsolidasi karena proses instalasinya yang mudah dan cepat. PVD disusun berdasarkan konfigurasi berbentuk kotak dan segitiga. Gambar 1 menampilkan tampak atas konfigurasi pemasangan PVD

2.3 Analisis Metode Cerucuk

Infrastruktur jalan dan jembatan sering berada pada tanah lunak. Dalam buku (Das dan Sobhan, 2018)



Gambar 1. Konfigurasi pemasangan PVD



Gambar 2. Kondisi awal lahan berupa lahan sawit dan hutan

dijelaskan tanah lunak memiliki kuat geser dan permeabilitas yang rendah serta kompresibilitas yang besar. Kondisi tersebut dapat membahayakan konstruksi infrastruktur.

Proyek Jembatan berada pada tanah dengan tipe *soft soil* yang dapat membahayakan struktur jembatan. Gambar 2 menampilkan kondisi awal lahan Proyek Jembatan yang masih berupa lahan perkebunan sawit penduduk dan sering mengalami kenaikan pasang surut sungai.

Perencanaan awal menggunakan metode PVD dengan beban *preloading* diatas tanah *eksisting*. Salah satu kesulitan pelaksanaan PVD adalah alat rig untuk pemasangan *vertical drain* memerlukan landasan yang stabil agar alat tidak terguling dan membahayakan pekerjaan. Gambar 3 menunjukkan alat rig untuk pemasangan, dan landasan (tanah sebagai akses alat) alat rig yang perlu stabil dan mampu mendukung mobilitas alat.

Pelaksanaan *soil improvement* menggunakan metode PVD memerlukan waktu tunggu agar tanah mencapai konsolidasi yang direncanakan. Pada Proyek

Jembatan, total waktu yang diperlukan untuk mencapai konsolidasi 90% memerlukan waktu total 28 bulan. Upaya untuk mempercepat pelaksanaan pekerjaan proyek jembatan menggunakan cerucuk dan geotekstil.

Penelitian-penelitian telah dilakukan untuk memperbaiki sifat dari tanah lunak tersebut. Konstruksi yang berada di atas tanah lunak akan berpotensi mengalami longsor atau ketidakstabilan, sehingga perlu dilakukan analisis stabilitas terhadap kondisi-kondisi tersebut (Duncan *et al.*, 2014). Das dan Sobhan (2018) menampilkan beberapa metode yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat tanah lunak tersebut. Gaafer *et al.*, (2015) beberapa metode *soil improvement* seperti pergantian tanah dasar, timbunan *preloading*, *vertical drains*, *stone columns*, stabilisasi menggunakan kimia, stabilisasi menggunakan semen, stabilisasi dengan kapur, stabilisasi menggunakan *fly ash*, *deep mixed columns*, *jet grouting*, pemasanan tanah, pendinginan tanah. Dalam penelitian ini, perbandingan biaya bergantung pada masing-masing lokasi dan ketersediaan material atau peralatan yang digunakan. Disarankan untuk menggunakan metode dengan biaya yang optimum.



Gambar 3. Alat Rig untuk pemasangan PVD



Tabel 3. Parameter Cerucuk dan Geotekstil yang digunakan

No	Nama	Model	EA	EI	W	U
1	Geotekstil GRX 50	Elastic				
2	Cerucuk 10x12 cm, Kayu Kelas II	Elastic	9,503E+04	1,018E+02	0,074	0,15

dan 7 bambu. Daya dukung cerucuk bambu dipengaruhi oleh jumlah bambu dalam kluster. Dalam penelitian ini, digunakan pengujian eksperimental untuk melihat perubahan daya dukung.

Penggunaan minipiles memberikan pengaruh terhadap stabilitas timbunan diteliti oleh (Purwanto, 2019). Penelitian dilakukan pada Jalan Tol Balikpapan-Samarinda yang berada pada kondisi tanah lunak. Analisis ini menggunakan bantuan *software Plaxis* untuk melihat *SF* dari kondisi-kondisi yang ada. Kondisi *eksisting*, *SF* berada di bawah 1,3 sehingga berpotensi mengalami kelongsoran dan kondisi tersebut sesuai

dengan kondisi lapangan yang mengalami kelongsoran. Perkuatan (*reinforcement*) menggunakan *minipiles* ukuran 20 cm x 20 cm sepanjang 600 cm dan jarak antar *minipiles* 100 cm, memberikan daya dukung yang baik terhadap timbunan dan menaikkan *SF* lebih dari 1,3. Perilaku *piles* dalam meningkatkan stabilitas lereng dipaparkan (Yati *et al*, 2023) Analisis dalam penelitian ini menggunakan metode analisis *pile-slope* sederhana. Pendekatan kesimbangan batas (*limit-equilibrium*) digunakan untuk menentukan stabilitas lereng. Penelitian ini memberikan gambaran terkait beberapa baris *minipiles* dapat meningkatkan stabilitas dengan menghasilkan gaya yang lebih kecil yang akan diterima *piles* sehingga mengoptimalkan ketebalan (atau kekakuan) dari *piles* sehingga mampu mengoptimalkan desain.

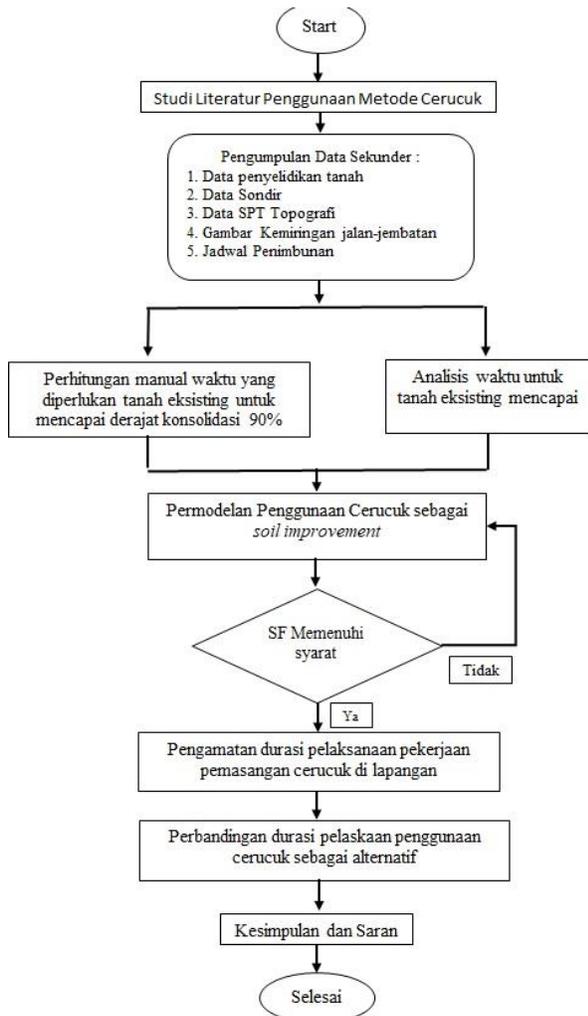
Penggunaan cerucuk dan matras bambu dipaparkan dalam (Faradila, 2023). Penggunaan metode ini dilakukan pada Tambak, Oso, Surabaya. Penelitian selanjutnya yang pernah dilakukan oleh (Susila dan Agransa, 2013) melakukan pengujian pada tiga tipe perkuatan tanah lunak berbasis matras bambu dengan kombinasi baik *mini pile* maupun cerucuk bambu. Disimpulkan matras bambu dengan kombinasi baik *mini pile* maupun cerucuk bambu merupakan alternatif perbaikan tanah lunak yang cocok untuk tanah lunak karena mampu meningkatkan stabilitas dan keamanan timbunan. Menambahkan informasi penelitian lain yakni (Purwanto, 2019), dengan adanya penambahan panjang cerucuk bambu, dan berkurangnya nilai jarak cerucuk bambu, terjadi peningkatan besarnya daya dukung batas cerucuk bambu.

Berdasarkan kajian-kajian sebelumnya, metode *soil improvement* menggunakan cerucuk baik kayu, bambu, maupun beton (*minipiles*) memberikan kenaikan daya dukung dan *SF* yang baik sehingga konstruksi yang berada di atas tanah lunak dapat digunakan dengan aman.

2.4 Tahap Persiapan

Tahapan persiapan dilakukan dengan studi literatur pada jurnal-jurnal penelitian yang telah meneliti tentang penggunaan cerucuk pada *soft soil*. *Soil improvement* pada penelitian ini akan dilakukan pada STA 2+375 – 3+250.

Pada tahapan persiapan, teori-teori terkait juga dipelajari dan dicatat seperti konsolidasi, teori konsolidasi satu dimensi, teori konsolidasi dengan drainase vertikal, waktu penurunan konsolidasi dengan



Gambar 4. Diagram alur penelitian

Tabel 4. Perhitungan Prediksi Penurunan Tekanan Overburden Efektif (Po)

Lapisan (m)	H (cm)	Y (gr/cm ³)	Y ^w (gr/cm ²)	Y ^{sat} (gr/cm ³)	Y' (gr/cm ³)	Po (gr/cm ²)
0,00 - 3,00	300	1.266	1	1.286	0.286	85.83
3,00 - 6,00	300	1.51	1	1.52	0.52	241.86
6,00 - 10,50	450	1.506	1	1.481	0.481	458.21
10,50 -15,00	450	1.795	1	1.783	0.783	810.7
15,00 -22,00	700	1.774	1	1.764	0.764	1345.29

Tegangan Akibat Beban Timbunan 3m (Δp)

a (cm)	b (cm)	z (cm)	qo (gr/cm ²)	a/z	b/z	rad	rad	I	Δp (gr/cm ²)
600	550	300	510	2	1.833	0.24416	1.071	1.539	1570.22
600	550	600	510	1	0.917	0.34796	0.742	1.409	1437.051
600	550	1050	510	0,571	0.524	0.34831	0.483	1.15	1173.106
600	550	1500	510	0,4	0.367	0.30264	0.351	0.932	950.131
600	550	2200	510	0,273	0.25	0.23669	0.245	0.699	712.597

Perhitungan Besar penurunan Timbunan 3m

Lapisan (m)	H (cm)	Cc	eo	Po (gr/cm ²)	Δp	Sc (cm)	Sc (m)
0,00 - 3,00	300	1.704	2.524	85.83	1570.22	186.466	1.86
3,00 - 6,00	300	0.788	1.646	241.86	1437.051	75.179	0.75
6,00 - 10,50	450	0.807	1.856	458.21	1173.106	70.122	0.7
10,50 - 15,00	450	0.402	0.935	810.7	950.131	31.492	0.31
15,00 -22,00	700	0.416	0.988	1345.29	712.597	27.041	0.27
Total penurunan (m)							3.9

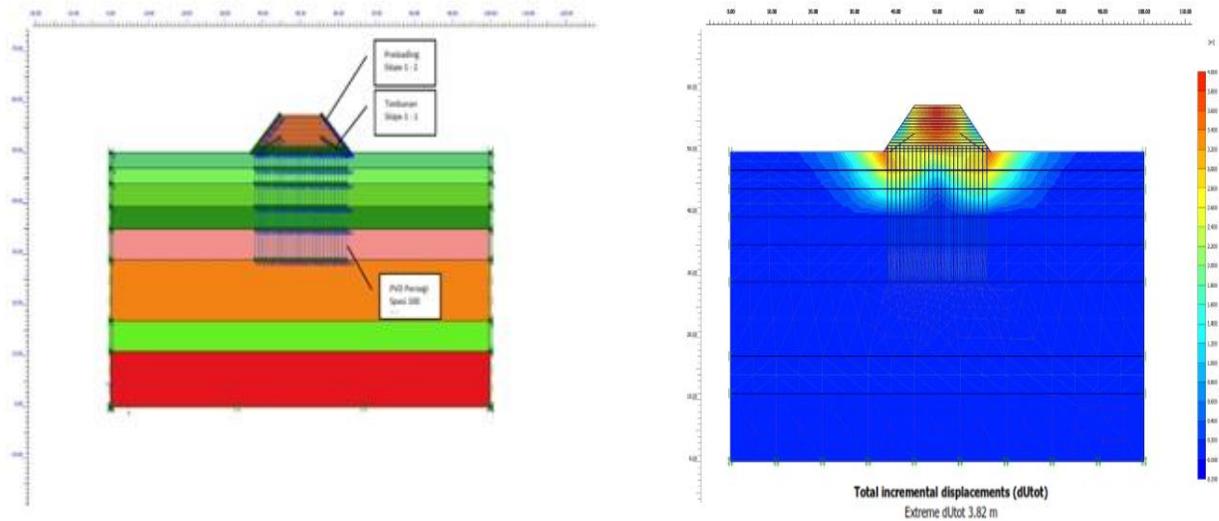
PVD , penurunan konsolidasi. Rumus dan teori ini akan digunakan untuk menghitung konsolidasi berdasarkan tinggi timbunan jalan, konsolidasi dengan PVD ,dan perhitungan desain cerucuk.

2.5 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap selanjutnya adalah pengambilan data tanah lapangan dan pengujian tanah di laboratorium. Data tanah dari lapangan menggunakan metode N-SPT (*Standard Penetration Test*) pada lokasi pekerjaan. Pengambilan uji

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan Besarnya Penurunan dengan Metode PVD dan Timbunan

t		Tv	Uv	Th	Uh	U	Sc
hari	detik		%		%	%	m
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	432000	0.000	0.024	0.087	0.179	0.199	1.529
10	864000	0.001	0.034	0.173	0.326	0.349	2.683
15	1296000	0.001	0.042	0.260	0.447	0.470	3.611
20	1728000	0.002	0.048	0.346	0.546	0.568	4.363
25	2160000	0.002	0.054	0.433	0.627	0.647	4.974
30	2592000	0.003	0.059	0.520	0.694	0.712	5.472
35	3024000	0.003	0.064	0.606	0.749	0.765	5.877
40	3456000	0.004	0.068	0.693	0.794	0.808	6.208
45	3888000	0.004	0.072	0.779	0.831	0.843	6.478
50	4320000	0.005	0.076	0.866	0.861	0.872	6.698
55	4752000	0.005	0.080	0.953	0.886	0.895	6.878
60	5184000	0.005	0.084	1.039	0.906	0.914	7.025
65	5616000	0.006	0.087	1.126	0.923	0.930	7.145
70	6048000	0.006	0.090	1.213	0.937	0.943	7.243
75	6480000	0.007	0.093	1.299	0.948	0.953	7.323
80	6912000	0.007	0.097	1.386	0.958	0.962	7.389
85	7344000	0.008	0.099	1.472	0.965	0.969	7.442
90	7776000	0.008	0.102	1.559	0.971	0.974	7.486
95	8208000	0.009	0.105	1.646	0.976	0.979	7.522
100	8640000	0.009	0.108	1.732	0.981	0.983	7.551



Gambar 6. Pekerjaan Timbunan naik 7,68 m dengan waktu tunggu 55 hari (konsolidasi 90%)

dilakukan pada beberapa titik. Pengambilan uji tanah dilanjutkan dengan pengujian tanah tersebut di laboratorium sehingga didapatkan *properti* tanah. Tabel 1 menampilkan *properti* tanah hasil pengujian laboratorium.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, ditarik korelasi koefisien pemampatan (C_c). Penelitian menggunakan data dengan kode SPT-25.A.25 untuk dijadikan perhitungan karena berada di tengah antara STA 2+375 – 3+250. Tabel 2 merupakan korelasi koefisien pemampatan (C_c) berdasarkan teori yang ada.

Tabel 7. Parameter Timbunan diatas Tanah Eksisting

Perhitungan Besar penurunan Timbunan 3m							
Lapisan (m)	H (cm)	C_c	e_o	P_o (gr/cm ²)	Δp	S_c (cm)	S_c (m)
0,00 - 3,00	300	1.704	2.524	85.83	1570.22	186.466	1.86
3,00 - 6,00	300	0.788	1.646	241.86	1437.051	75.179	0.75
6,00 - 10,50	450	0.807	1.856	458.21	1173.106	70.122	0.7
10,50 - 15,00	450	0.402	0.935	810.7	950.131	31.492	0.31
15,00 - 22,00	700	0.416	0.988	1345.29	712.597	27.041	0.27
Total Penurunan (m)							3.9

Tabel 6. Total Durasi Waktu Tunggu Pengerjaan Timbunan Setinggi 7,68 meter

Penanganan	Tahapan	S_u	Tinggi Timbunan	Δs_u	Tinggi Kritis	Derajat Konsolidasi (%)	Waktu Tunggu (hari)	Total Timbunan	Total Durasi (Hari)
		(kPa)	(m)	(kPa)	(m)				
	1	1.30	0.5	1.30	0.50	90	55	0.50	55
	2	2.60	0.5	1.30	1.00	90	55	1.00	110
	3	3.90	0.5	1.30	1.50	90	55	1.50	165
	4	5.20	0.5	1.30	2.00	90	55	2.00	220
	5	6.50	0.5	1.30	2.50	90	55	2.50	275
	6	7.80	0.5	1.30	3.00	90	55	3.00	330
	7	9.10	0.5	1.30	3.50	90	55	3.50	385
PVD Pola Persegi Spasi 100 cm	8	10.40	0.5	1.30	4.00	90	55	4.00	440
	9	11.70	0.5	1.30	4.50	90	55	4.58	495
	10	13.00	0.5	1.30	5.00	90	55	5.18	550
	11	14.30	0.5	1.30	5.50	90	55	5.68	605
	12	15.60	0.5	1.30	6.00	90	55	6.18	660
	13	16.90	0.5	1.30	6.50	90	55	6.68	715
	14	18.20	0.5	1.30	7.00	90	55	7.18	770
	15	19.50	0.5	2.30	7.50	90	55	7.68	825

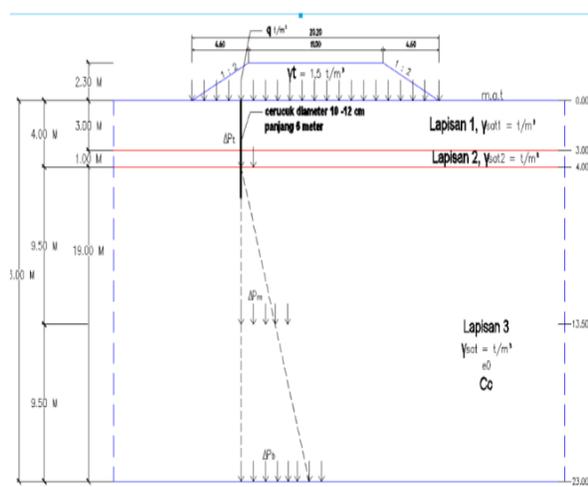
Tabel 8. Data Sondir STA 2+375 – 3+250

Kedalaman (cm)	Qc (kg/cm ²)									
	CPT-07	CPT-08	CPT-09	CPT-10	CPT-11	CPT-12	CPT-13	CPT-14	CPT-15	CPT-16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	2	0	0	0	0	1	1	1	1	2
400	10	1	0	1	1	2	2	1	1	2
600	10	3	3	4	2	3	2	2	1	3
800	10	13	3	6	3	2	2	5	2	5
1000	11	10	3	3	2	3	3	7	6	6
1200	10	10	7	3	7	5	8	7	10	9
1400	10	10	15	18	50	6	10	10	15	10
1600	10	11	12	16	11	14	9	11	11	11
1620	12	10	12	16	13	15	14	13	25	12
1680	15	11	13	15	15	13	11	17		13
1740	70	60	15			15	13	24		14
1760		110	27			13	13	22		16
1780			50			13	14	20		17
1800			48				12	18		25
1820			48				12	18		23
1840							15	17		23
1860							13	17		16
1920										

Proses desain cerucuk juga memerlukan *properti* material cerucuk yang tersedia.

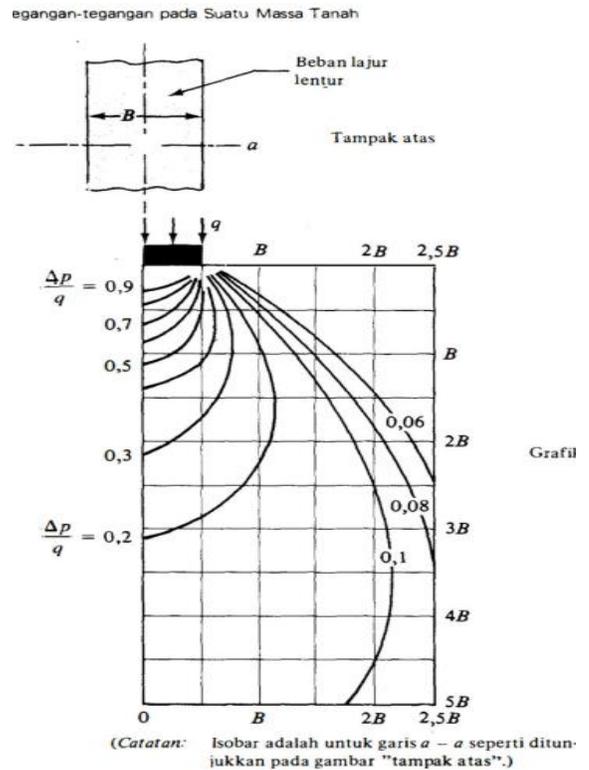
Tabel 3 menampilkan properti cerucuk dan geotekstil yang akan digunakan di lapangan. Pengolahan data dilanjutkan dengan perhitungan waktu yang dibutuhkan tanah dasar atau *eksisting* untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90%, dilakukan perhitungan menggunakan PVD.

Kendala-kendala dalam pelaksanaan PVD termasuk adanya waktu tunggu yang menyebabkan pelaksanaan pekerjaan mundur, dilakukan analisis penggunaan cerucuk untuk mempercepat pelaksanaan pekerjaan. Dalam penelitian, desain cerucuk menggunakan properti yang terdapat pada Tabel 3.



Gambar 7. Model Perkuatan Tanah Dasar dengan Cerucuk

Desain cerucuk yang telah dianalisis sebelumnya, diaplikasikan di lapangan dan dilakukan pengukuran waktu pelaksanaan. Hasil dari pengukuran durasi pelaksanaan cerucuk di lapangan menjadi alternatif dalam percepatan pelaksanaan pekerjaan.



Gambar 8. Penentuan Beban Timbunan Tambahan

Tabel 9. Perhitungan Tekanan *Overburden* Efektif

Tekanan <i>Overburden</i> Efektif (P_o)						
Lapisan (m)	H (cm)	γ (gr/cm ³)	γ_w (gr/cm ²)	γ_{sat} (gr/cm ³)	γ' (gr/cm ³)	P_o (gr/cm ²)
0,00 - 3,00	300	1.266	1	1.286	0.286	85.83
3,00 - 4,00	100	1.51	1	1.52	0.52	137.84
4,00 - 23,00	1900	1.646	1	1.637	0.637	742.96
Tekanan <i>overburden</i> efektif (gr/cm ²)						742.96
Tekanan <i>overburden</i> efektif (T/m ²)						7.43

Gambar 4 merupakan diagram alur penelitian untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk konsolidasi, desain pada metode cerucuk untuk mengetahui daya dukung dan *SF* dari stabilitas timbunan, serta pemantauan durasi pelaksanaan cerucuk.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Perhitungan waktu konsolidasi manual tanpa PVD

Tinggi timbunan pada STA 2+375 adalah 3 meter dengan panjang 300 meter dan lebar jembatan 11 meter. Pada tabel 4 menampilkan perhitungan besarnya penurunan akibat timbunan dengan ketinggian 3 meter. Nantinya dapat dilihat pada gambar 7, penurunan total akibat timbunan setinggi 3 meter adalah 3,90299 meter. Berikut perhitungan manual derajat konsolidasi sebagai berikut:

C_v gabungan = 0,001280 cm²/detik
 t_{90} = 801625000 detik
 = 310 bulan (waktu derajat konsolidasi 90%)

Berdasarkan perhitungan manual, derajat konsolidasi 90% memerlukan waktu 310 bulan. Berikut hitungan prediksi penurunan (konsolidasi) pada Tabel 4.

3.2 Perhitungan waktu konsolidasi dengan PVD

Berikut perhitungan waktu konsolidasi dengan PVD, diketahui data-data parameter perencanaan PVD :

C_v gabungan = 0,001280 cm²/detik
 C_h = 0,00256 cm²/detik
 h_d = 11 meter
 f = 3.51
 S_{ult} = 768,358 cm (total penurunan tanpa PVD)
 direncanakan PVD dengan kedalaman 22 meter

Parameter-parameter tersebut dilanjutkan dengan simulasi perhitungan manual penurunan konsolidasi. Tabel 5 menampilkan perhitungan manual waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Berdasarkan perhitungan pada tabel 5 untuk mencapai derajat konsolidasi 90%, memerlukan waktu tunggu 55 hari untuk setiap kenaikan layer timbunan ($U=0,895\%$).

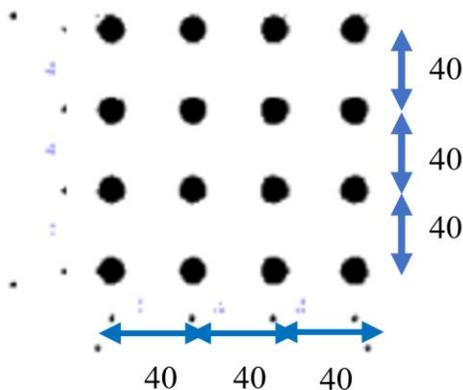
Analisis dilanjutkan dengan perhitungan waktu yang diperlukan untuk mencapai S_{ult} . Analisis menggunakan waktu tunggu yang terdapat pada tabel 5 dengan tinggi timbunan kritis sebesar 0,5 m. Tinggi timbunan kritis merupakan tinggi timbunan maksimal setiap layer yang boleh dihampar sampai elevasi atas timbunan.

Dalam analisis ini, diasumsikan $N-SPT=0$ pada kedalaman 0-15 meter dengan konsistensi tanah soft $S_u = 1,3$ kPa. Tabel 5 menampilkan total durasi yang diperlukan untuk mencapai $S_{ultimate}$ sebesar 7,68 meter dengan waktu tunggu 55 untuk setiap layer dan tinggi tiap layer setinggi 0,5 m. Tabel 6 menampilkan waktu yang diperlukan untuk mencapai S_{ult} setinggi 7,68 meter yakni selama 825 hari (setara dengan 27,5 bulan atau 2,3 tahun). Waktu ini merupakan waktu yang diperlukan dalam metode PVD untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dan penurunan total 7,68 meter.

3.2.1 Permodelan analisis stabilitas timbunan menggunakan Plaxis

Analisis juga dilakukan menggunakan bantuan *software* yaitu Plaxis. Bantuan *software* ini untuk melihat stabilitas timbunan dan tanah *eksisting*. Gambar 8 memberikan permodelan awal analisis stabilitas timbunan menggunakan PVD menggunakan Plaxis. Pada permodelan Plaxis, dimasukkan parameter-parameter tanah *eksisting* yang terdapat pada Tabel 2.

Gambar 6 memberikan hasil permodelan analisis deformasi menggunakan *software* Plaxis. Analisis menggunakan Plaxis yang ditampilkan pada Gambar 6



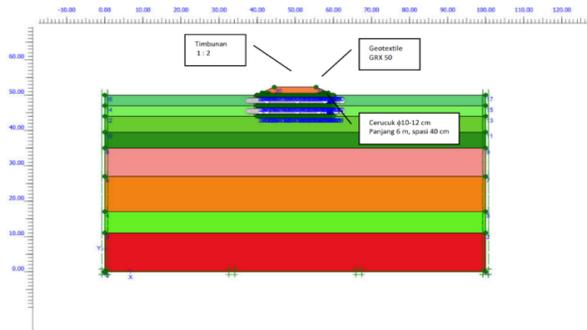
Gambar 9. Tampak atas dan rencana konfigurasi cerucuk

menggambarkan terjadi deformasi setelah timbunan naik setinggi 7,68 meter. Deformasi terbesar yakni 3,82 m. Dalam analisis awal tanpa PVD, timbunan akan mengalami konsolidasi dan terjadi penurunan sebesar 3,90 m (Tabel 4).

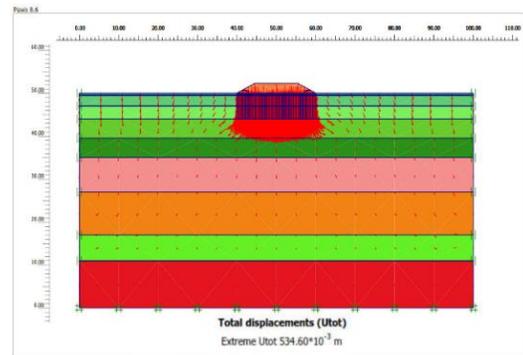
Salah satu tujuan penggunaan PVD adalah mempercepat terjadinya proses keluarnya air pori pada tanah lunak yang menyebabkan konsolidasi. Berdasarkan data-data diatas, konsolidasi tanpa PVD memerlukan waktu 310 bulan (penurunan 3,9 m) dan konsolidasi menggunakan PVD memerlukan waktu 27,5 bulan (penurunan 3,82 m).

3.3 Desain cerucuk

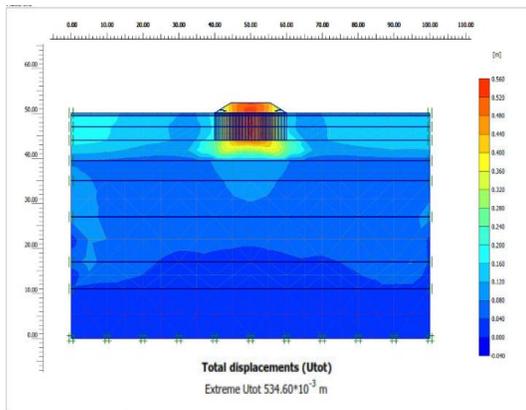
Berikut parameter dan data yang digunakan pada desain cerucuk (Tabel 7). Tahapan selanjutnya adalah proses desain cerucuk yang akan diaplikasikan di lapangan. Properti cerucuk dan geotekstil yang akan digunakan pada desain perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3. Dalam proses analisis desain dan daya dukung cerucuk, diperlukan data-data tanah *eksisting* yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 diatas sebelumnya. Selain itu pula, diperlukan data-data lain yang diperlukan dalam proses desain yaitu data sondir atau CPT lapangan.



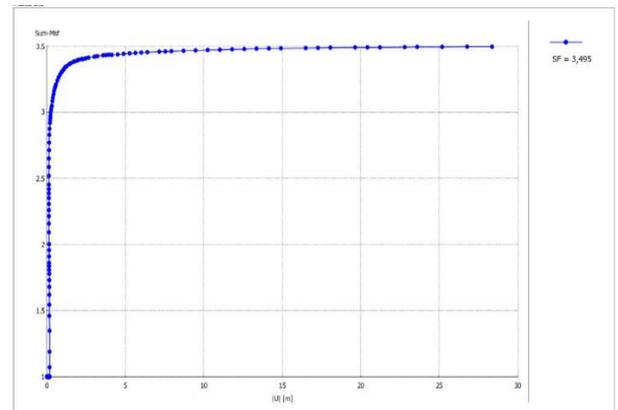
Gambar 10. menampilkan permodelan cerucuk pada Plaxis



Gambar 11. Permodelan Cerucuk Tanah Eksisting (Arrow)



Gambar 12. Penurunan terbesar pada permodelan cerucuk



Gambar 13. SF permodelan timbunan menggunakan cerucuk



Gambar 14. Pengadaan dan penyortiran material



Gambar 15. Pemasangan cerucuk dan proses memasukkan hingga kedalaman tertentu



Gambar 16. Pemasangan kepala cerucuk dan gerak mundur alat berat agar tidak menginjak kepala cerucuk



Gambar 17. Proses penggelaran dan penyambungan geotekstil diatas cerucuk

Pada tabel 8 merupakan data Sondir atau CPT lapisan tanah pada lokasi STA 2+375 – 3+250 dengan lapisan tanah semi kaku > 6 meter dan nilai QC>10. Berikut ditampilkan Tabel 8.

Gambar 7 memberikan model perkuatan timbunan diatas tanah *eksisting* dengan cerucuk sebagai metode *soil improvement*.

Pada perhitungan pembebanan, diperlukan properti dan parameter lapisan tanah *eksisting*. Tabel 7 menampilkan parameter tanah *eksisting*. Parameter tanah *eksisting* pada tabel 7, dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan beban *overburden*. Tabel 9 menampilkan tekanan tanah *overburden* efektif.

Tabel 9 merupakan perhitungan beban *overburden* (p_0) (timbunan diatas tanah *eksisting* guna mencapai kemiringan jalan).

$$\begin{aligned}
 \text{a) Beban } \textit{overburden}, p_0 &= 7,43 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Tebal lapisan tanah} = H &= 23 \text{ m} \\
 \text{Lebar timbunan pada jembatan} &= B = (11 + 9,2) / 2 \\
 &= 10,1 \text{ m} \\
 \text{Tinggi timbunan} = h &= 0,5 * 2,3 = 1,15 \text{ m} \\
 \text{b) Beban tambahan, } \Delta p & \\
 \text{Berat volume tanah timbunan, } \gamma &= 1,5 \text{ ton/m}^3 \\
 \text{Beban tekanan lapis timbunan, (q)} &= \gamma \times h = 1,679 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Luasan, B per m1} = B \times 1 &= 10,1 \text{ m} \\
 \text{Gaya dari lapis perkerasan, F} &= q / (B \times B) \\
 &= 0,166 \text{ ton}
 \end{aligned}$$



Gambar 18. Proses penghamparan menggunakan dozer dan excavator membetuk kemiringan serta pemadatan menggunakan vibro roller

Gambar 8 penentuan beban timbunan tambahan:

$$\begin{aligned}
 \text{Terhadap bagian atas} &= h_1/B = 4 / 10,1 = 0,4 \text{ B} \\
 \Delta p_t / q &= 0,8 \\
 \Delta p_t &= 0,8 \times q = 1,3432 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Terhadap bagian tengah} &= h_2/B = 13,5/10,1 = 1,3 \text{ B} \\
 \Delta p_m / q &= 0,6 \\
 \Delta p_m &= 0,6 \times q = 1,0074 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Terhadap bagian bawah} &= h_3/B = 23/10,1 = 2,3 \text{ B} \\
 \Delta p_b / q &= 0,29 \\
 \Delta p_b &= 0,29 \times q = 0,4869 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Beban tambahan pada lapisan tanah asli, } \Delta p & \\
 \Delta p &= (\Delta p_t + 4 \Delta p_m + \Delta p_b) / 6 \\
 &= 0,98 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

c) Kebutuhan waktu konsolidasi 90%

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan, } S &= ((C_c \times H) / (1 + e_0)) \times \log((p_0 + \Delta p)/p_0) \\
 S_1 &= (C_c \times H)/(1 + e_0) = 5,888 \\
 S_2 &= \log((p_0 + \Delta p)/p_0) = 0,05
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan, } S &= ((C_c \times H)/(1 + e_0)) \times \log((p_0 + \Delta p)/p_0) \\
 &= 0,32 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Koefisien konsolidasi, $C_v = 0,000128 \text{ cm}^2/\text{det}$

Panjang aliran rata-rata, $H_{dr} = H/2 = 11,5 \text{ m}$

Untuk t_{90} , $T_v = 0,848$

Waktu konsolidasi, $t_{90} = (T_v \times H_{dr}^2)/C_v = 8.761.562.500$ detik = 281,69 tahun)

d.) Perhitungan pondasi cerucuk

Direncanakan penggunaan cerucuk dengan diameter 10-12 cm, panjang 6 meter (cerucuk tersedia)

Konfigurasi tiang dengan spasi 40 cm = 4 x 4 (16) buah dalam 1,44 m².

Gambar 9 menampilkan tampak atas konfigurasi dan jarak anatar cerucuk.

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal lapisan tanah} = H &= 23 \text{ m} \\
 \text{Lebar timbunan pada jembatan} &= B = (11 + 9,2) / 2 \\
 &= 10,1 \text{ m} \\
 \text{Tinggi timbunan} = h &= 0,5 * 2,3 = 1,15 \text{ m} \\
 \text{Berat volume tanah timbunan, } \gamma &= 1,5 \text{ ton/m}^3 \\
 \text{Beban tekanan lapis timbunan, (q)} &= \gamma \times h = 1,679 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan, data sondir rata-rata ,

Tabel 10. Durasi Pelaksanaan Pemasangan Cerucuk

Nama Pekerjaan	Volume Pekerjaan		Produksi Harian		Durasi (Hari)
	Volume	Satuan	Volume	Satuan	
Cerucuk	74,705.00	Titik	498.03	Titik	150
Geotekstil	5,582.65	m ²	46.52	m ²	120
Timbunan	11,165.30	m ³	74.44	m ³	150

Daya dukung rata-rata tiang cerucuk dia. 10 cm, $L = 10$ cm, $q_{a1} = 0,186$ ton
 Daya dukung rata-rata tiang cerucuk dia. 12 cm, $L = 12$ cm, $q_{a2} = 0,220$ ton
 Daya dukung rata-rata tiang cerucuk, $q_a = (q_{a1} + q_{a2})/2 = 0,203$ ton
 Jumlah cerucuk dalam luasan bidang kontak (lapisan tanah dasar), $n = 4$
 Efisiensi group, $Eff = 0,75$
 Daya dukung group, $Q_a = q_a \times n \times Eff = 2,43$ ton
 Luasan bidang kontak pada lapisan tanah dasar ($1,2 \times 1,2$ m²) = 1,44 m²
 Daya dukung group/luasan = $Q_a / \text{Luasan bidang kontak} = 1,690$ ton/m²
 Beban surcharge (q) < Daya Dukung group = 1,679 ton/m² < 1,690 ton/m²

Dalam perhitungan diatas, desain cerucuk dengan diameter 10-12 cm dan jarak (antar cerucuk 40 cm) memiliki daya dukung yang lebih besar daripada beban yang akan bekerja diatasnya.

Permodelan penggunaan cerucuk dimodelkan menggunakan Plaxis untuk menganalisis SF dari timbunan Gambar 10 menampilkan permodelan cerucuk pada Plaxis menggunakan data pada Tabel 3.

Gambar 11 dan 12 menampilkan hasil analisis penggunaan cerucuk pada Plaxis. Gambar 11 menampilkan arah deformasi yang terjadi pada tanah *eksisting*. Gambar 12 menampilkan besarnya deformasi terbesar yang terjadi. Berdasarkan gambar 12, deformasi terbesar yang terjadi pada timbunan sebesar 0,53460 meter. Gambar 13 menampilkan SF yang terjadi setelah pemberian pembebanan berupa timbunan.

Berdasarkan Gambar 13 desain cerucuk dengan diameter 10 – 12 cm, panjang 6 meter dengan spasi 30 cm memberikan SF sebesar 3,49 ($SF > 1,25$). Desain cerucuk direncanakan dapat menahan beban yang akan bekerja diatasnya.

Tabel 11. Schedule dan durasi pemasangan cerucuk

ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Qt, 1, 2023		Qt, 2, 2023		Qt, 3, 2023		Qt, 4, 2023		Qt, 1, 2024	
						Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month		
1	Pelaksanaan Pemasangan Cerucuk sbg Soil Improvement	210 days	Mon 20/03/23	Fri 05/01/24											
2	Pemasangan cerucuk	150 days	Mon 20/03/23	Fri 13/10/23											
3	Pemasangan geotekstil	120 days	Mon 01/05/23	Fri 13/10/23	2SS+30 days										
4	Penghamparan timbunan	150 days	Mon 12/06/23	Fri 05/01/24	3SS+30 days										
5	Pemadatan timbunan	150 days	Mon 12/06/23	Fri 05/01/24	4SS										

3.4 Pemasangan Cerucuk pada Lapangan

Cerucuk merupakan produk yang dihasilkan alam sehingga memiliki diameter dan kualitas yang bervariasi dari dalam. Penggunaannya harus diawali dari proses penyortiran hingga pemasangan. Proses pemasangan cerucuk diawali dengan pengajuan gambar *shop drawing* design dan sampel material cerucuk yang kemudian dilakukan pengujian sampling material cerucuk dan pengecekan fisik, diameter serta panjang material. Setelah itu, dilakukan pemancangan cerucuk menggunakan bantuan alat berat, pemasangan kepala cerucuk dan pemasangan geotekstil. Pada tahap akhir dilakukan penimbunan bertahap hingga elevasi top.

3.5 Dokumentasi pemasangan

Gambar 14 merupakan proses pengadaan dan penyortiran material cerucuk sesuai dengan dimensi dan panjang yang telah direncanakan. Gambar 15 menggambarkan proses pemasangan cerucuk di lapangan menggunakan bantuan excavator.

Gambar 16 menampilkan pemasangan kepala cerucuk dengan triplek untuk memperluas penyebaran beban. Gambar 17 menampilkan pemasangan geotekstil. Sedangkan gambar 18 menampilkan proses penghamparan timbunan dan pemadatan timbunan menggunakan alat berat. Selama proses pemasangan cerucuk, geotek, dan penghamparan timbunan, dilakukan pengamatan durasi pelaksanaan pekerjaan.

Tabel 10 menampilkan pengamatan durasi pekerjaan pemasangan cerucuk. Tabel 11 menampilkan total durasi pekerjaan menggunakan Ms. Project. Berdasarkan Tabel 11, pengamatan pemasangan cerucuk pada Proyek *Jembatan* dapat dilaksanakan dalam durasi 210 hari atau 7 bulan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas terkait penggunaan cerucuk sebagai soil improvement dapat disimpulkan SF penggunaan material cerucuk terhadap beban yang akan bekerja sebesar 3,49 (aman terhadap beban timbunan). Desain dan kekuatan cerucuk dapat menahan beban yang direncanakan. Pemasangan cerucuk dapat dilaksanakan selama 7 bulan, dibandingkan dengan PVD yang memerlukan waktu 28 bulan, dan tanpa PVD selama 310 bulan. Dengan demikian penggunaan cerucuk

pada proyek jembatan di Kalimantan mengalami efisiensi waktu pengerjaan sebesar 75 persen dari rencana pengerjaan proyek menggunakan PVD selama 28 bulan.

Ucapan Terima Kasih

Dengan terselesaikannya artikel ilmiah ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak yang sudah membantu, pembimbing lahan dan lapangan, konsultan perencana, konsultan engineering, kontraktor pelaksana selaku penyedia, reviewer dan pengelola jurnal serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan secara individu.

Daftar Pustaka

- Adi, A. D., Mase, L. Z., Pranata, T., Kuncara, S. L., dan Sulistyowati, D. (2014). Stabilitas Lereng Menggunakan Cerucuk Kayu. *Seminar Nasional Geoteknik 2014*, 151–155.
- Das, B. M., dan Sobhan, K. (2018). *Geotechnical Engineering*. www.cengagebrain.com.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., dan Brandon, T. L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability-Second Edition*.
- Faradila, A. (2023). Studi Mekanisme Interaksi Tanah-Matras Cerucuk Bambu sebagai Perkuatan Tanah Lunak. *Buletin Profesi Insinyur*, 6(1), 7–13. <https://doi.org/10.20527/bpi.v6i1.174>
- Gaafer, Manar, Bassioni, Mostafa, dan Tareq. (2015). Soil Improvement Techniques. *International Journal of Scientific dan Engineering Research*, 6. <http://www.ijser.org>
- Gasruddin, ahmad. (2017). Uji Model Perkuatan Lereng dengan Cerucuk Kayu pada Tanah Lunak. *LLPMUnidayan*, 21–28.
- Irsyam, M., dan Krisnanto, S. (2008). Pengujian Skala Penuh dan Analisis Perkuatan Cerucuk Matras Bambu untuk Timbunan Badan Jalan diatas Tanah Lunak di Lokasi Tambak Oso, Surabaya. *Forum Teknik Sipil No. XVIII/1-Januari, XVIII(1)*, 667–681.
- Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 2. (2014). *Permenperin_No.02_2014*.
- Purwanto, E. (2019). Technology of Mini Piles for High Embankment Stability on Soft Soils to Prevent a Settlement. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 10(6), 224–233.
- Susila, E., dan Agransa, F. D. (2013). Gridded Matrass and Mini-Piles vs Tightened Matrass and Mini-Piles vs Top Connected Mini-Piles - Simple and Cheap but Powerful Methods for Soft Soil Reinforcement. *The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment*, 385.
- Widodo, B., Pratikso, Rochim, A., Irsyam, M., dan Widoanindyawati, V. (2019). Influence of bamboo pile clusters in the pile mattress bamboo construction systems as reinforcement of soft subgrade that support embankment load. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 527(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/527/1/012055>
- Yati, H., Katman, B., Lee, C. Y., Utama, D., Zulnisyam, B., Binti, I., Pauzi, M., Nor, I., dan Baharuddin, Z. B. (2023). Behavior of Stabilizing Piles to Increase Stability of Residual Soil Slope. *International Journal of Applied Engineering and Technology Copyrights @ Roman Science Publications*, 5(3), 185–191.
- Zahera, N., Widiastuti, M., dan P. Arifin, T. S. (2019). Analisis Kekuatan Struktur Minipile Pasca Keruntuhan dengan Menggunakan *Software Plaxis V8.6*. *Jurnal Teknologi Sipil*, 3(1), 29–39.