

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN MELALUI METODE PERBAIKAN TANAH DAN PERKUATAN TANAH

Stability Analysis of Embankment with Soil Improvement and Soil Reinforcement Method

Muhammad Weldy Hermawan
Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
email: weldyhermawan@gmail.com

Kata kunci: *timbunan, perbaikan tanah, perkuatan tanah, matras cerucuk bambu*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas perairan 70% dari luas wilayahnya. Dan seiring berkembangnya zaman dan peningkatan pertumbuhan penduduk di Indonesia, semakin dibutuhkan pula akses untuk menghubungkan pulau-pulau kecil di Indonesia. Salah satu solusi untuk kebutuhan akses penghubung tersebut adalah melalui transportasi laut. Salah satu solusi untuk menghubungkan darat dengan transportasi laut selain menggunakan struktur *deck on pile* adalah dengan menggunakan *causeway*. *Causeway* merupakan penghubung yang berupa timbunan tanah, tanpa menggunakan tiang-tiang pancang sebagai pondasinya

Salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam penimbunan tanah adalah faktor daya dukung atau kekuatan tanah. Kekuatan tanah dasar yang akan dijadikan area timbunan harus memenuhi kriteria kekuatan tanah agar tanah timbunan dapat stabil dan mampu menanggung beban yang timbul akibat penimbunan. Dalam analisis pemenuhan kekuatan tanah dasar ini, terdapat dua metode yang umum digunakan yaitu metode

perbaikan tanah dan metode perkuatan tanah. Salah satu metode perbaikan tanah dilakukan melalui penimbunan secara bertahap dengan membiarkan lapisan tanah dasar untuk terkonsolidasi. Seiring terkonsolidasinya lapisan tanah dasar, kekuatan tanah akan meningkat. Metode perkuatan tanah dapat dilakukan melalui penambahan material tambahan pada lapisan tanah dasar untuk meningkatkan daya dukung tanah. Perkuatan dapat dilakukan menggunakan geotekstil, tiang pancang, atau bambu.

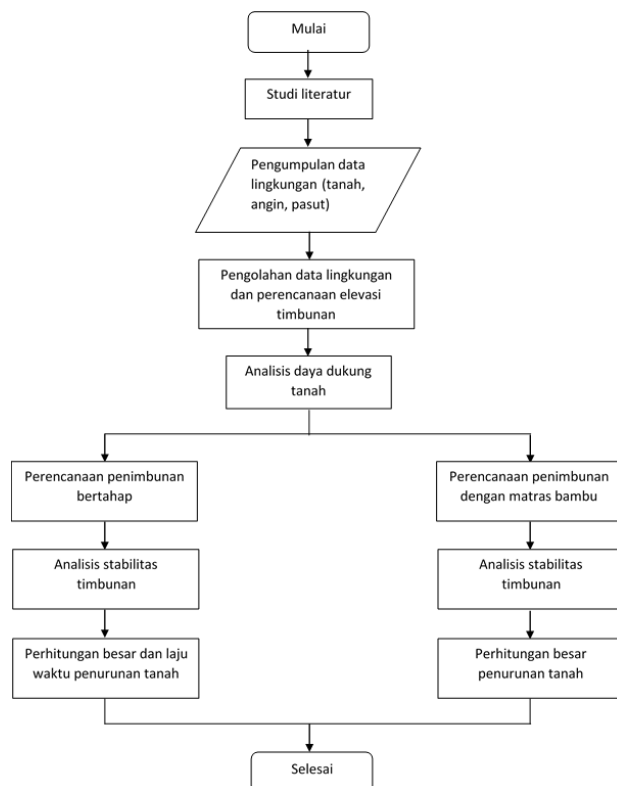
Selain daya dukung tanah, hal yang perlu juga diperhatikan dalam penimbunan adalah penurunan tanah. Penurunan tanah dapat terjadi akibat beban timbunan dan konsolidasi yang terjadi pada lapisan tanah lempung.

Pada studi ini akan dilakukan analisis stabilitas timbunan di atas lapisan tanah dasar yang mengandung lapisan tanah lempung menggunakan perangkat lunak Plaxis. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode perbaikan tanah melalui penimbunan bertahap serta pemasangan *prefabricated vertical drain* (PVD) dan melalui metode perkuatan tanah dengan menggunakan sistem matras cerucuk bambu. Juga akan dilakukan

perhitungan penurunan tanah yang terjadi akibat beban dari timbunan.

TEORI DAN METODOLOGI

Dalam analisis timbunan, hal yang pertama perlu diketahui adalah kapasitas daya dukung tanah. Daya dukung tanah diperhitungkan untuk mengetahui apakah lapisan tanah dasar cukup kuat untuk menahan beban timbunan desain. Setelah didapatkan kondisi lapisan tanah terhadap beban timbunan kemudian dapat dilakukan perencanaan metode yang akan dilakukan dalam penimbunan. Metodologi yang dilakukan dalam studi ini ditunjukkan pada **Gambar 1** di bawah ini.



Gambar 1. Metodologi studi yang dilakukan

Perhitungan akan terlebih dahulu dilakukan dengan pengolahan data

lingkungan berupa data tanah, data angin, serta data pasang surut. Pengolahan data angin dan pasang surut dilakukan untuk mendapatkan parameter lingkungan untuk kebutuhan elevasi desain timbunan. Pengolahan data tanah dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter dari lapisan tanah dasar.

Perhitungan daya dukung tanah dilakukan dengan menggunakan teori Terzaghi (1943) untuk pondasi dangkal sebagai berikut.

$$q_u = C N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad (\text{Pers. 1})$$

Di mana: q_u = ultimate bearing capacity
 c = nilai kohesi tanah
 q = γD_f
 γ = berat jenis tanah
 B = lebar pondasi

Dalam analisis melalui metode perbaikan tanah, timbunan akan dilakukan bertahap untuk membiarkan tanah mengalami konsolidasi terlebih dahulu untuk meningkatkan daya dukung tanah. Melalui persamaan di atas, kemudian dapat diketahui besar beban timbunan yang dapat ditanggung lapisan tanah dasar dan tinggi kritis timbunan yang dapat dilakukan. perhitungan tinggi kritis timbunan didapatkan melalui persamaan berikut.

$$\gamma' \times H_{cr} \leq q_{all} \quad (\text{Pers. 2})$$

Di mana: H_{cr} = tinggi kritis timbunan
 γ' = berat jenis timbunan efektif
 $q_{all} = \frac{q_u}{SF}$ = daya dukung ijin tanah

Maka dapat diperhitungkan nilai tinggi kritis timbunan sebagai berikut.

$$H_{cr} = \frac{q_{all}}{\gamma'} \quad (\text{Pers. 3})$$

Pemberian beban timbunan dapat mengakibatkan terkondolidasinya lapisan tanah dasar. Dengan terkonsolidasinya lapisan tanah dasar, dapat mengakibatkan peningkatan nilai kohesi tanah sebesar 22%. Peningkatan nilai kohesi tersebut akan membuat daya dukung tanah.

Setelah didapatkan nilai daya dukung tanah, kemudian dapat dilakukan analisis stabilitas timbunan melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak Plaxis. Dalam analisis stabilitas timbunan ini, akan ditinjau faktor keamanan dari tiap timbunan. Nilai faktor keamanan yang diharapkan pada studi ini adalah lebih besar dari 1.1 pada tahap konstruksi dan lebih dari 1.25 pada tahap operasional.

Kemudian, akan dilakukan perhitungan penurunan tanah akibat konsolidasi yang terjadi akibat beban timbunan. Perhitungan konsolidasi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_o} H_c \quad (\text{Pers. 4})$$

Di mana: S_c = besar konsolidasi primer
 Δe = total perubahan *void ratio*
 e_o = *void ratio* lapisan tanah
 H_c = tebal lapisan tanah lunak

Nilai perubahan *void ratio* dalam studi ini didapatkan melalui kondisi *normally consolidated soil* di mana diperhitungkan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_o} \quad (\text{Pers. 5})$$

Di mana: C_c = *compression index*
 σ'_o = tegangan efektif tanah

$\Delta \sigma'$ = tegangan tambahan tanah

Dalam analisis timbunan melalui metode perbaikan tanah, salah satu hal yang perlu ditinjau adalah laju waktu konsolidasi. Metode perbaikan tanah yang dilakukan adalah dengan membiarkan lapisan tanah dasar untuk terkonsolidasi terlebih dahulu sebelum dilakukan penimbunan selanjutnya. Tinjauan laju waktu konsolidasi ini akan dilakukan dengan perbandingan tanpa menggunakan PVD, dengan menggunakan PVD konfigurasi *square spacing*, dan konfigurasi *triangular spacing*.

Perhitungan laju waktu konsolidasi tanpa menggunakan PVD dapat menggunakan persamaan berikut.

$$t = \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v} \quad (\text{Pers. 6})$$

Di mana: t = waktu konsolidasi
 T_v = *time factor* arah vertikal
 H_{dr} = panjang lintasan air
 C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal

Fungsi PVD adalah untuk mempercepat laju waktu konsolidasi tanah dengan memperpendek jalur drainase. Perhitungan laju waktu konsolidasi menggunakan PVD dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$(1 - U_{vh}) = (1 - U_v)(1 - U_h) \quad (\text{Pers. 7})$$

Di mana: U_{vh} = rata-rata derajat konsolidasi
 U_v = derajat konsolidasi arah vertikal
 U_h = derajat konsolidasi arah horizontal

Derajat konsolidasi horizontal (U_h) merupakan pengaruh dari pemasangan PVD dalam memperpendek jalur drainase air

dalam proses konsolidasi. Nilai U_h didapatkan melalui persamaan berikut.

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F(n)}\right) \quad (\text{Pers. 8})$$

Dengan:

$$T_h = \frac{C_h}{d_e^2} t \quad (\text{Pers. 9})$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (\text{Pers. 10})$$

$$n = \frac{d_e}{d_w} \quad (\text{Pers. 11})$$

Di mana: C_h = koefisien konsolidasi arah horizontal

d_e = lintasan drainase horizontal efektif

d_w = diameter ekuivalen saluran *vertical drain*

Lintasan drainase horizontal efektif berbeda untuk tiap konfigurasi pemasangan PVD. Perhitungan lintasan drainase efektif dapat menggunakan persamaan berikut.

- *Square Spacing*

$$d_e = 1.128 S \quad (\text{Pers. 12})$$

- *Triangular Spacing*

$$d_e = 1.05 S \quad (\text{Pers. 13})$$

Selain menggunakan metode perbaikan tanah melalui penimbunan bertahap yang membiarkan lapisan tanah untuk terkonsolidasi, untuk menanggulangi daya dukung tanah dapat dilakukan penimbunan dengan metode perkuatan tanah. Metode perkuatan tanah ini adalah dengan memberikan material tambahan di atas lapisan tanah dasar untuk meningkatkan daya dukung tanah. Material yang biasa digunakan

antara lain geotekstil, tiang pancang, atau bambu.

Dalam studi ini, akan ditinjau perkuatan tanah dengan menggunakan material bambu. Konfigurasi bambu yang digunakan adalah dengan sistem matras dan cerucuk bambu. Penggunaan cerucuk bambu adalah sebagai pondasi timbunan dan matras bambu digunakan untuk meratakan beban timbunan pada pondasi. Contoh cerucuk dan matras bambu ditunjukkan pada **Gambar 2 (a) dan (b)** berikut.



Gambar 2. (a) Cerucuk bambu. (b) Matras bambu
(sumber: Irsyam, 2007)

TINJAUAN LOKASI STUDI

Data tanah yang digunakan dalam studi ini terletak di Teluk Sangkulirang, Kalimantan Timur. Pengolahan data lingkungan akan dilakukan pada data tanah, data angin, dan data pasang surut. Data tanah yang diolah akan digunakan sebagai parameter data tanah, data angin akan diolah untuk mendapatkan parameter tinggi gelombang signifikan di lokasi tinjauan, dan data pasang surut digunakan untuk mendapatkan parameter data tunggang pasang di lokasi. Parameter data gelombang dan data pasang surut digunakan untuk menentukan elevasi timbunan yang dianggap aman di lokasi tinjauan.

Melalui pengolahan data tanah hasil penyelidikan di lapangan, didapatkan

parameter tanah lokasi tinjauan yang ditunjukkan pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Parameter lapisan tanah dasar

Lapisan	Jenis Tanah	Tebal Lapisan (m)	N-SPT	γ (kN/m ³)		ν	Es (kN/m ²)	Kohesi (kN/m ²)	Φ
				γ_{sat}	γ_{unsat}				
1	Clayey Silt	8	2	17	14	0.35	2400	12	
2	Clayey Silt	17	6	19	16	0.35	3600	36	
3	Sandy Silt	5	17	17.5	15	0.35	6900	0	32.5
4	Sandy Silt	5	29	18.5	17.5	0.35	10500	0	37.5
5	Silty Sand	10	66	23	22	0.4	20250	0	50

Untuk menentukan elevasi timbunan, diperlukan parameter data gelombang dan data pasang surut. Dilakukan pengolahan data angin untuk mendapatkan parameter tinggi gelombang signifikan di lokasi tinjauan. Pengolahan data angin dilakukan menggunakan metode *hindcasting* gelombang. Berdasarkan hasil perhitungan *hindcasting gelombang* dan analisis nilai ekstrim, didapatkan hasil parameter tinggi gelombang yang ditunjukkan pada **Tabel 2**. Parameter gelombang signifikan lokasi hasil *hindcasting* Error! Reference source not found.. Nilai parameter tinggi gelombang yang diambil adalah untuk periode ulang 50 tahun yaitu sebesar 3.07 m.

Tabel 2. Parameter gelombang signifikan lokasi hasil *hindcasting*

Periode Ulang	Timur		Tenggara		Selatan	
	H_s (m)	T_s (detik)	H_s (m)	T_s (detik)	H_s (m)	T_s (detik)
100	3.25	9.63	1.69	6.73	3.28	9.68
50	2.77	8.82	1.58	6.48	3.07	9.33
10	1.74	6.83	1.21	5.60	2.47	8.28

Lalu dilakukan analisis terhadap data pasang surut di lokasi tinjauan. Data pasang surut didapatkan melalui data Dishidros TNI AL Tahun 2011. Analisis pasang surut dilakukan dengan menggunakan program ERGTIDE. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai pasang tertinggi di lokasi tinjauan adalah sebesar 2.18 m.

Berdasarkan kedua nilai parameter di atas, dapat ditentukan elevasi desain timbunan melalui perhitungan dari 0.5 nilai tinggi gelombang, besar pasang tertinggi, serta nilai *freeboard* 0.5 m. Didapatkan elevasi timbunan rencana adalah sebesar 5.5 m. Timbunan akan didesain dengan kemiringan 1:3

HASIL DAN ANALISIS

• Metode Perbaikan Tanah

Melalui persamaan daya dukung tanah dan perhitungan tinggi kritis tanah, didapatkan lapisan tanah dasar hanya mampu menanggung beban untuk timbunan hingga ketinggian 3.89 m di atas dasar laut atau 2.89 m di atas permukaan laut. Dengan demikian diperlukan penimbunan secara bertahap hingga mencapai elevasi desain pada elevasi 5.5 m di atas permukaan laut. Berdasarkan perhitungan, didapatkan hasil rencana penimbunan secara bertahap pada timbunan yang ditunjukkan oleh **Tabel 3** di bawah ini. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa penimbunan akan dilakukan sebanyak dua kali ditambah dengan satu kali penimbunan *preloading*. *Preloading* diberikan untuk meningkatkan daya dukung tanah sebelum digunakan untuk operasional.

Tabel 3. Perencanaan penimbunan bertahap

	Parameter Tanah Awal			Parameter Timbunan			
	c (kN/m ²)	qu (kN/m ²)	qall (kN/m ²)	Hcr (m)	Htimb (m)	$\Delta\sigma$ (kN/m ²)	Δc (kN/m ²)
Timbunan 1	12	61.68	56.07	3.89	3.5	49.5	10.89
Timbunan 2	22.89	117.65	106.96	6.88	2	34	7.48
Preloading	30.37	156.10	141.91	8.94	2	34	7.48
Operasional	37.85	194.55	176.86		-2	10	2.2

Setelah didapatkan perencanaan timbunan bertahap yang dilakukan,

kemudian dapat dilakukan pemodelan timbunan dengan menggunakan perangkat lunak Plaxis. Dalam pemodelan ini, akan digunakan fase *staged construction* sebagai penimbunan bertahap di mana di tiap tahap timbunannya akan dilakukan perbaikan nilai parameter lapisan tanah sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel di atas. Hasil pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil pemodelan penimbunan bertahap

Fase Timbunan	Safety Factor	Penurunan Elastis (m)
Timbunan 1	1.3354	0.228
Timbunan 2	1.2952	0.423
Preloading	1.1306	0.589
Operasional	1.3209	0.476

Berdasarkan hasil di atas, terlihat bahwa timbunan aman untuk dilaksanakan. Kemudian akan dilakukan perhitungan besar konsolidasi tanah yang terjadi akibat pembeban timbunan. Hasil perhitungan penurunan tanah ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil perhitungan konsolidasi tanah akibat beban timbunan

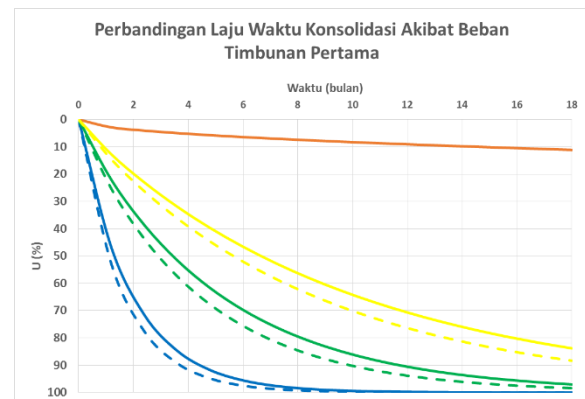
Total Penurunan Tanah	
Fase Timbunan	Konsolidasi (m)
Tahap Pertama	1.67
Tahap Kedua	0.73
Preloading	0.58
Operasional	0.15
TOTAL	3.14

Berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan di atas, dapat diambil kesimpulan untuk penimbunan dengan metode perkuatan tanah yang ditunjukkan pada **Tabel 6** berikut.

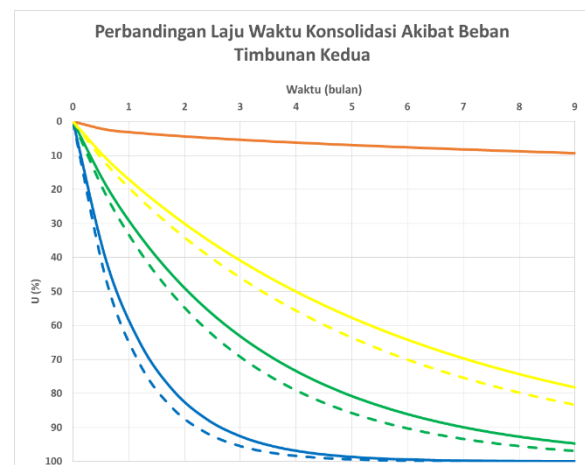
Tabel 6. Rangkuman hasil pemodelan dan perhitungan timbunan metode perbaikan tanah

Fase Timbunan	Safety Factor	Konsolidasi Primer (m)	Penurunan Elastis (m)	Total Penurunan (m)
Timbunan 1	1.335	1.67	0.228	1.898
Timbunan 2	1.295	0.73	0.423	1.153
Preloading	1.131	0.58	0.589	1.169
Operasional	1.321	0.15	0.476	0.626
Total Penurunan Tanah (m)				4.846

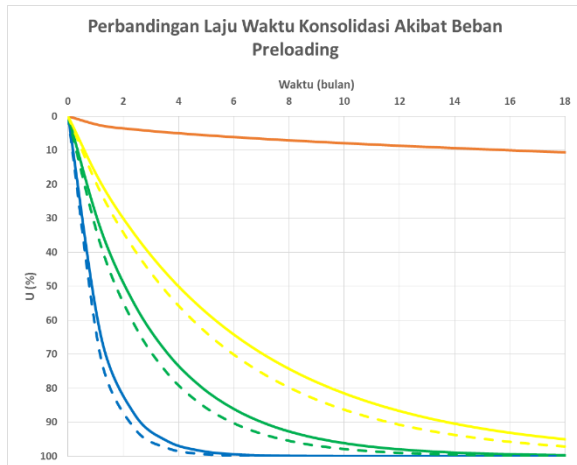
Setelah didapatkan besar konsolidasi tanah yang terjadi, kemudian akan dihitung laju waktu konsolidasi dalam setiap fase konstruksi timbunan. **Gambar 3** hingga **Gambar 5** menunjukkan grafik perbandingan laju waktu konsolidasi.



Gambar 3. Perbandingan laju waktu konsolidasi akibat beban timbunan pertama



Gambar 4. Perbandingan laju waktu konsolidasi akibat beban timbunan kedua

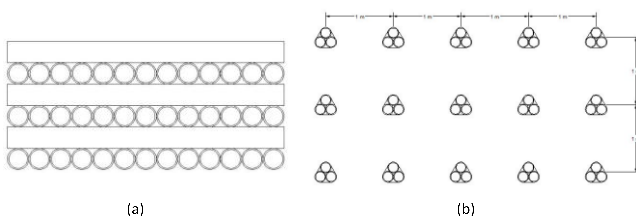


Gambar 5. Perbandingan laju waktu konsolidasi akibat beban timbunan preloading

Pada grafik di atas, garis putus menunjukkan penggunaan konfigurasi PVD *triangular spacing*, garis tegas menunjukkan konfigurasi PVD *square spacing*. Warna oranye menunjukkan tanpa penggunaan PVD, warna kuning menunjukkan jarak pemasangan 2 m, warna hijau menunjukkan jarak pemasangan 1.5 m, dan warna biru menunjukkan jarak pemasangan 1 m. Berdasarkan ketiga grafik di atas, terlihat bahwa pemasangan PVD dengan *triangular spacing* jarak 1 m merupakan konfigurasi paling efektif untuk mempercepat laju waktu konsolidasi.

• Metode Perkuatan Tanah

Dalam analisis dengan metode perkuatan tanah, akan digunakan matras cerucuk bambu sebagai material perkuatan tanah. Konfigurasi matras bambu yang digunakan adalah matras bambu 3 lapis dan jarak pemasangan cerucuk bambu 1 m. **Gambar 6** menunjukkan konfigurasi matras cerucuk bambu rencana.



Gambar 6. (a) Konfigurasi desain matras bambu. (b) Konfigurasi

Matras bambu akan dimodelkan sebagai elemen *beam* dan cerucuk bambu dimodelkan sebagai elemen *node-to-node anchor*. Parameter matras dan cerucuk bambu yang digunakan sebagai input pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 7** berikut.

Tabel 7. Parameter input pemodelan matras cerucuk bambu

Parameter Matras Bambu		
Kekakuan Aksial per m	EA :	1746675.25 kN / m
Kekakuan Bending per m	EI :	143234.4234 kN m ² / m
Poisson's Ratio	v :	0.35
Parameter Cerucuk Bambu		
Kekakuan Aksial	EA :	36997.30518 kN
Spacing	L :	1 m

Pemodelan akan dilakukan melalui tiga tahap. Tahap pertama adalah dilakukan pengecekan untuk penimbunan langsung tanpa perkuatan tanah. Tahap kedua dilakukan pemodelan dengan perkuatan matras bambu, dan tahap ketiga dilakukan pemodelan dengan perkuatan matras dan cerucuk bambu. Hasil pemodelan dapat dilihat melalui **Tabel 8** berikut.

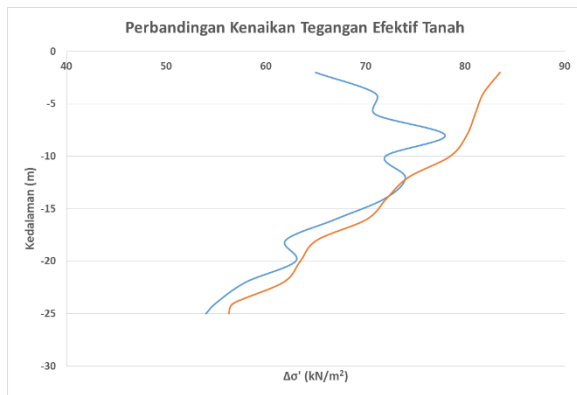
Tabel 8. Hasil pemodelan perkuatan tanah

	Safety Factor	Deformasi Elastis (m)
Timbunan Langsung	Lapisan tanah mengalami kegagalan	
Timbunan dengan perkuatan matras bambu	1.716	0.354
Timbunan dengan perkuatan matras cerucuk bambu	1.754	0.297

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut terlihat bahwa dengan perkuatan matras bambu, timbunan sudah dapat dianggap aman untuk dilakukan dengan nilai *safety factor* 1.716. Dan dengan konfigurasi matras cerucuk bambu dapat meningkatkan nilai *safety factor* hingga 1.754.

Kemudian akan dilakukan perhitungan konsolidasi tanah akibat kenaikan tegangan efektif tanah akibat penimbunan yang

dilakukan. Nilai kenaikan tegangan efektif tanah akan ditinjau per kedalaman lapisan tanah dengan menggunakan persamaan Boussinesq. Nilai kenaikan tegangan tanah juga akan dilihat melalui hasil pemodelan. **Gambar 7** menunjukkan grafik perbedaan nilai kenaikan tegangan tersebut.



Gambar 7. Perbandingan kenaikan tegangan efektif tanah

Pada grafik tersebut, warna oranye menunjukkan nilai kenaikan tegangan tanah hasil perhitungan manual dan warna biru menunjukkan nilai kenaikan tegangan tanah hasil pemodelan.

Dengan menggunakan kedua nilai tersebut untuk perhitungan konsolidasi tanah, didapatkan besar konsolidasi tanah sebesar 2.405 m berdasarkan nilai kenaikan tegangan tanah hasil pemodelan, dan sebesar 2.541 m berdasarkan nilai kenaikan tegangan tanah hasil perhitungan manual. Terlihat bahwa konsolidasi akan terjadi hingga lebih dari 50% tinggi timbunan. Maka dari itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk menanggulangi dampak yang timbul akibat konsolidasi ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan, didapatkan kesimpulan untuk studi ini sebagai berikut.

1. Faktor keamanan untuk timbunan tahap pertama adalah sebesar 1.33, untuk timbunan tahap kedua adalah sebesar 1.29, untuk timbunan tahap *preloading* adalah sebesar 1.13, dan untuk tahap operasional adalah sebesar 1.32. Sehingga timbunan aman dan stabil untuk dilaksanakan.
2. Melalui metode perbaikan tanah dengan penimbunan bertahap, lapisan tanah dasar akan mengalami penurunan total sebesar 4.864 m. Laju waktu konsolidasi tercepat dapat dicapai dengan menggunakan PVD dengan *spacing* 1 m. Laju waktu yang didapat untuk timbunan pertama adalah sekitar 80 hari, untuk timbunan kedua adalah sekitar 50 hari, dan untuk *preloading* adalah sekitar 70 hari.
3. Timbunan dengan metode perbaikan tanah dapat dipenuhi dengan perkuatan matras bambu 3 lapis. Berdasarkan hasil pemodelan, timbunan tersebut aman dan stabil untuk dilakukan dengan nilai faktor keamanan 1.71. Dan berdasarkan pemodelan, kombinasi matras bambu dengan cerucuk bambu dapat meningkatkan nilai faktor keamanan dari konstruksi menjadi 1.75.
4. Melalui metode perkuatan tanah, lapisan tanah dasar akan mengalami konsolidasi sebesar 2.5 m akibat dari beban timbunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggour, M.S. 2002. *Updating Bearing Capacity – SPT Graphs Report*. Maryland: University of Maryland.
- Bo, M.W. 2009. *Reclamation and Ground Improvement*. Singapura: Cengage Learning Asia.
- Bowles, J.E. 1997. *Foundation Analysis and Design 5th Ed*. McGraw-Hill Book Co.
- Coastal Engineering Research Center U.S. Army Engineer. 1984. *Shore Protection Manual 4th Ed*. Washington DC.
- Das, B.M. 2000. *Shallow Foundations – Bearing Capacity and Settlement*. Washington DC: CRC Press.
- Das, B.M. 2006. *Principles of Geotechnical Engineering 5th Ed*. Thomson Canada Ltd.
- Das, B.M. 2007. *Principles of Foundation Engineering 6th Ed*. Thomson Canada Ltd.
- Day, R.W. 2000. *Geotechnical Engineer's Portable Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Irsam, M. 2008. "Pengujian Skala Penuh dan Analisis Perkuatan Cerucuk Matras Bambu Untuk Timbunan Badan Jalan di Atas Tanah Lunak di Lokasi Tambak Oso, Surabaya" *Kumpulan Paper Forum Teknik Sipil No. XVIII/1-Januari*. Forum Teknik Sipil.
- Reese, L.C. 2006. *Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations*. New Jersey: John Wiley&Sons.