

Perencanaan Perbaikan Tanah dan Perkuatan Tanggul Lepas Pantai Teluk Jakarta

Apriana Hanggara Dewi, Yudhi Lastiasih, dan Herman Wahyudi
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: yudhi.lastiasih@gmail.com

Abstrak-Jakarta merupakan Ibukota Indonesia. Jakarta terletak di pantai utara Pulau Jawa. Berada pada perairan laut Jawa menyebabkan Teluk Jakarta menjadi tempat bermuaranya sungai-sungai yang membelah kota Jakarta. Wilayah Jakarta mengalami penurunan tanah antara 10 cm sampai 180 cm, tergantung pada letak wilayahnya, sehingga mengancam kawasan Jakarta tergenang secara permanen. Salah satu solusi untuk menangani ancaman tergenangnya kawasan Jakarta adalah akan dibuat tanggul laut. Sehingga dilakukan penyelidikan tanah disepanjang Teluk Jakarta dimana susunan dan karakteristik lapisan tanahnya akan dikelompokkan atas 15 (lima belas) ruas sungai dengan parameter kedalaman diukur dari MTS (Muka Tanah Setempat) dan pantai. Hasil dari penyelidikan tanah tersebut menyatakan bahwa sebagian tanah kondisi tanah dasar dari Teluk Jakarta merupakan tanah lunak dengan nilai $N-SPT < 10$ dengan ketebalan yang bervariasi. Berdasarkan kondisi tanah seperti yang dijelaskan di atas, untuk mendapatkan tanggul yang stabil serta aman terhadap longsor dan juga gelombang air laut, maka pada Tugas Akhir ini perlu direncanakan dan dibandingkan tanggul dengan menggunakan sistem lereng dengan armour, secant pile dan SUPW (Sistem Urug dengan Perkuatan Wadah). Sedangkan untuk mengatasi permasalahan yang mungkin terjadi pada tanah dasar lunak yang harus menerima beban urugan, direncanakan perbaikan tanah tanah dengan metode pre-loading dan juga PVD (Prefabricated Vertical Drain). Dari hasil perencanaan PVD didapatkan hasil jarak pemasangan PVD masing-masing zona adalah antara 0,5 m-1,0 m dengan menggunakan pola pemasangan segitiga. Sedangkan untuk perkuatan lereng dengan armour, kemiringan lereng adalah 1:2 dengan tebal lapisan primer 1,2 m, lapisan sekunder 0,6 m dan berm 1,2 m. Besar angka keamanan untuk masing-masing zona adalah antara 1,5-1,96. Selanjutnya perkuatan tanggul dengan secantpile, besar diameter secantpile masing-masing zona antara 1,6 m -2,0 m. Angka keamanan dari perkuatan secantpile adalah antara 5,74-8,7. Selanjutnya perkuatan SUPW, lebar pemasangan SUPW untuk masing-masing zona antara 11 m – 24,2 m. Angka keamanan yang didapatkan dari perkuatan SUPW adalah antara 1,54 – 1,9.

Kata Kunci: Teluk Jakarta, Secant pile, SUPW.

I. PENDAHULUAN

JAKARTA merupakan Ibukota Indonesia. Jakarta terletak di pantai utara Pulau Jawa. Berada perairan laut Jawa, Teluk Jakarta merupakan tempat bermuaranya sungai-sungai yang membelah kota Jakarta. Pada wilayah pesisir pantai Jakarta mengalami penurunan tanah, menyebabkan kawasan Jakarta sedikit demi sedikit tenggelam. Besar penurunan tanah yang terjadi di wilayah Jakarta adalah antara 10 cm sampai 180 cm, tergantung pada letak wilayahnya (seperti terlihat pada Gambar 1). Apabila tidak dilakukan tindakan apapun, maka kawasan tersebut terancam tergenang secara permanen.



Gambar 1. Peta penurunan muka tanah wilayah DKI Jakarta

Adanya ancaman tenggelamnya wilayah Jakarta maka dilakukan penanganan yaitu proyek bernama “Strategi Pengaman Pantai Jakarta” dengan nama lain NCICD (*National Capital Integrated Coastal Development*). Proyek tersebut merencanakan beberapa jenis solusi mulai jangka pendek sampai jangka panjang. Salah satu solusinya adalah akan dibuat tanggul laut.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah disepanjang Teluk Jakarta dimana susunan dan karakteristik lapisan tanahnya akan dikelompokkan atas 15 (lima belas) ruas sungai dengan parameter kedalaman diukur dari MTS (Muka Tanah Setempat) dan pantai. Dari hasil penyelidikan tersebut diperoleh berbagai jenis kondisi tanah dengan dominasi tanah merupakan *soft clay*.

Berdasarkan kondisi tanah seperti yang dijelaskan di atas, untuk mendapatkan tanggul yang stabil serta aman terhadap longsor dan juga gelombang air laut, maka pada Tugas Akhir ini perlu direncanakan dan dibandingkan tanggul dengan menggunakan sistem lereng dengan armour, secant pile dan SUPW (Sistem Urug dengan Perkuatan Wadah). Sedangkan untuk mengatasi permasalahan yang mungkin terjadi pada tanah dasar lunak yang harus menerima beban urugan, direncanakan perbaikan tanah tanah dengan metode *pre-loading* dan juga PVD (*Prefabricated Vertical Drain*).

Berdasarkan kondisi yang ada, maka dapat disimpulkan rumusan masalah yang perlu diperhatikan adalah:

1. Zoning data tanah berdasarkan $N-SPT$
2. Perencanaan perbaikan tanah dasar.
3. Perencanaan perkuatan tanggul lepas pantai.

II. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

A. Studi literatur

Studi literatur bertujuan untuk mempermudah penyelesaian tugas akhir ini. Studi literatur didapatkan dari diktat kuliah, buku-buku serta jurnal. Beberapa bahan referensi yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah teori pemampatan, teori *preloading*, teori waktu konsolidasi, teori PVD (*Prefabricated Vertikal Drain*), teori perencanaan sistem lereng dengan armour, teori perencanaan secantpile, teori perencanaan SUPW (Sistem Urug dengan Perkuatan Wadah).

B. PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA

Data-data yang dipakai dalam perencanaan ini adalah data sekunder berupa data layout lokasi, data pengujian tanah SPT, dan data bathymetry.

C. ZONIFIKASI DATA TANAH

Dari beberapa data tanah dengan titik pengambilan di ruas ruas sungai pada Teluk Jakarta, dilakukan zonifikasi berdasarkan besar nilai N-SPT.

D. PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DAN PERKUATAN TIMBUNAN

- Perencanaan Perbaikan Tanah

Rencana perbaikan tanah dengan menggunakan metode *pre-loading*. Apabila dalam proses *pre-loading* waktu yang dibutuhkan tanah untuk pemampatan lebih dari 6 bulan, maka dilakukan upaya untuk mempercepat waktu pemampatan dengan menggunakan PVD (*Prefabricated Vertikal Drain*).

- Perencanaan Perkuatan Tanah

Perkuatan tanah dilakukan dengan membandingkan 3 (tiga) alternatif perkuatan yaitu perkuatan sistem lereng dengan armour, perkuatan secantpile, serta perkuatan SUPW (Sistem Urug dengan Perkuatan Wadah).

E. KESIMPULAN

Kesimpulan diambil dari alternatif perencanaan perkuatan tanggul menggunakan metode sistem lereng dengan armour, *secant pile*, dan SUPW (Sistem Urug dengan Perkuatan Wadah) dipilih yang paling stabil.

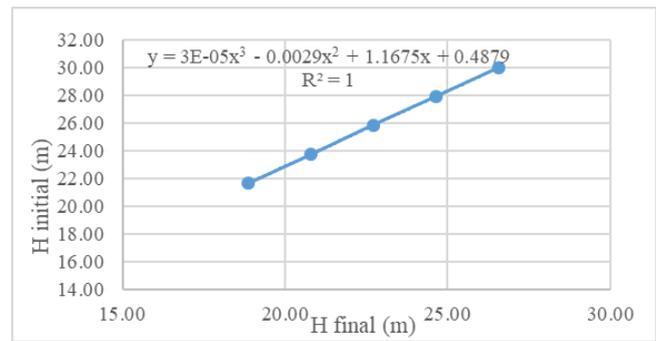
III. ANALISA DATA TANAH

Pada perencanaan tugas akhir ini menggunakan data tanah berupa data SPT dengan jumlah data sebanyak 60 data. Untuk mempermudah analisa data tanah, maka dilakukan zoning berdasarkan jenis tanah dan besar nilai N-SPT. Hasil dari zoning, data tanah terbagi menjadi 6 zona. Pada zona 1,2, dan 4, didominasi oleh tanah lempung dengan konsistensi dari *very soft* sampai *hard*. Sedangkan untuk zona 3,5, dan 6, terdapat lapisan tanah pasir dengan konsistensi *loose* sampai *dense*, meskipun tetap didominasi oleh tanah lempung dengan konsistensi *very soft* sampai *hard*.

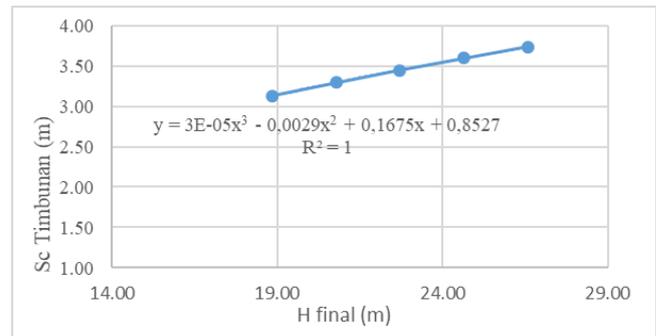
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Settlement

Penambahan beban pada permukaan tanah menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Penurunan yang diperhitungkan pada perencanaan ini terdiri dari penurunan akibat penurunan segera (*immediate*



Gambar 2. Hubungan H_{final} dengan H_{initial}



Gambar 3. Hubungan H_{final} dengan Sc

settlement) dan penurunan akibat penurunan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). Penurunan terjadi akibat adanya tegangan-tegangan pada tanah. Tegangan yang terjadi antara lain tegangan *overburden* (P_o'), tegangan prakonsolidasi (P_c'), dan distribusi tegangan (ΔP)[1].

Berikut merupakan contoh perhitungan penurunan konsolidasi tanah pada zona 1:

Cek: $P_o' + \Delta P \geq P_c'$

$$1,046 \text{ kN/m}^2 + 370,000 \text{ kN/m}^2 \geq 25,546 \text{ kN/m}^2$$

$$371,046 \geq 25,546 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga besar penurunan konsolidasi tanah akibat timbunan:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p_c'}{p_o} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_c'} \right) \tag{1}$$

$S_c = 0,137 \text{ m}$

Selanjutnya besar penurunan *immediate* tanah akibat timbunan[2]:

$$S_i = q \sum_i \left(\frac{h_i}{E'_i} \right) \tag{2}$$

$$S_i = 370 \text{ kN/m}^2 \left(\frac{0,5 \text{ m}}{6408,3 \text{ kN/m}^2} \right) = 0,0289 \text{ m}$$

Setelah diketahui besar penurunan tanah, maka bisa dihitung didapatkan besar H_{initial} timbunan.

Tinggi H_{initial} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[1]:

$$H_{initial} = \frac{q_i + S_c (\gamma_w)}{\gamma_{timb}} \tag{3}$$

$$= 21,658$$

Setelah didapatkan Sc dan H_{initial}, maka dapat dibuat grafik hubungan antara H_{final} dengan H_{initial} seperti Gambar 2, dan grafik hubungan H_{final} dengan Sc seperti Gambar 3.

Setelah dibuat grafik, maka akan didapatkan persamaan untuk mencari nilai H_{initial} dan Sc. Dilakukan yang sama

Tabel 2 Besar Sc dan Hinitial pada setiap Zona

Zona	Sc (m)	Hinitial (m)	Waktu Pemampatan (tahun)
1	3,283	22,918	545,092
2	2,400	22,035	362,890
3	1,692	21,327	43,141
4	2,736	22,371	225,664
5	3,366	23,001	583,415
6	1,041	21,176	29,983

Tabel 1 Pemasangan PVD pada setiap Zona

Zona	Pola pemasangan (m)	Jarak antar PVD (m)	Kedalaman PVD (m)
1		0,6	14,5
2		0,6	12,5
3		1,0	2,5
4	Segitiga	0,9	14,5
5		0,5	12,5
6		0,5	2,5

pada zona lain. Hasil besar settlement dan H_{initial} dari masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 1.

Karena pemampatan tanah membutuhkan waktu yang lama, untuk mempercepat waktu pemampatan maka dipasang PVD.

B. PVD

Berdasarkan pada analisa data tanah, didapatkan hasil tanah didominasi oleh tanah lempung, sehingga pemampatan konsolidasi yang terjadi lambat. Pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) digunakan untuk mempercepat waktu penurunan tanah. Perencanaan dilakukan dengan menggunakan PVD dengan pola pemasangan segitiga dan pola pemasangan segiempat. Data spesifikasi PVD yang digunakan adalah:

- a = 100 mm
- b = 5 mm

Berikut merupakan contoh perhitungan PVD [1]:

$$C_v = 0,000104 \text{ cm}^2/\text{s} = 0,0063 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$C_h = 3 \times C_v = 3 \times 0,0063 \text{ m}^2/\text{minggu} = 0,0188 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

Direncanakan:

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4n^2} \right) \right] \tag{4}$$

= 1,351

$$U_h = \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)}}} \right) = 0,18 \tag{5}$$

$$T_v = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} = 0,000030 \tag{6}$$

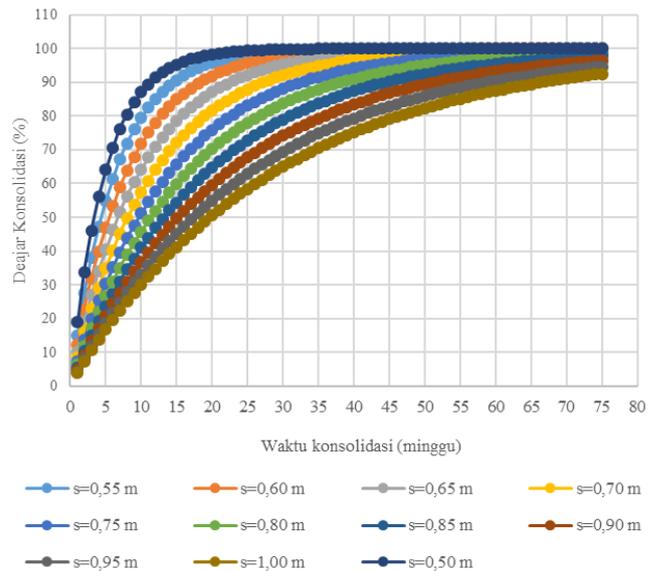
$$\bar{U}_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) = 0,00616 \tag{7}$$

$$U \text{ rata-rata} = \bar{U} = \left[1 - (1 - \bar{U}_h)(1 - \bar{U}_v) \right] \times 100\% \tag{8}$$

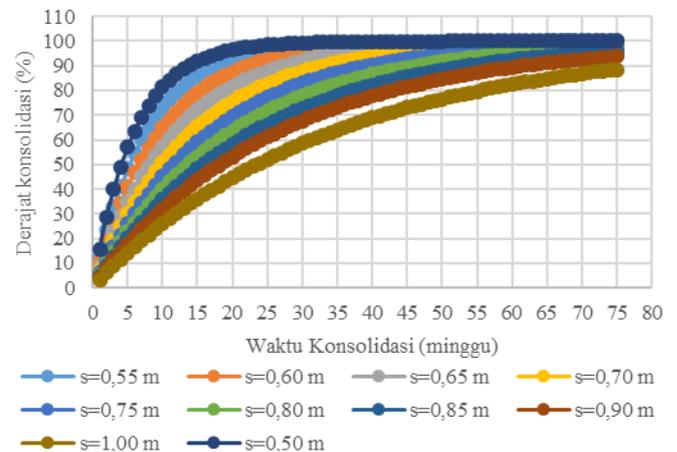
= [1 - (1-0,183)(1-0,00616)] x 100%

= 18,909

Maka, setelah diketahui besar Urata-rata, bisa dibuat grafik hubungan waktu pemampatan dengan derajat konsolidasi, pada Gambar 5 grafik untuk PVD pola pemasangan segitiga dan Gambar 6 grafik untuk PVD pola pemasangan segiempat.



Gambar 4. Garfik hubungan waktu konsolidasi dengan derajat konsolidasi untuk pola pemasangan segitiga



Gambar 5. Garfik hubungan waktu konsolidasi dengan derajat konsolidasi untuk pola pemasangan segiempat

Berdasarkan hasil analisa didapatkan kedalaman dan jarak pemasangan tiap zona dapat dilihat pada Tabel 2. Dengan ketinggian pelaksanaan antara 21 m hingga 23 m, apabila hanya dilakukan perbaikan tanah saja maka timbunan tidak stabil sehingga perlu direncanakan perkuatan timbunan.

C. Perkuatan Lereng dengan sistem armour

Berikut merupakan contoh perhitungan perkuatan armour pada Zona 1 :

1) Menentukan Elevasi Bangunan

$$\text{Elevasi muka air} = \text{MHWL} + \text{Sw} + \text{SLR}$$

dimana:

$$\text{MHWL} = \text{Elevasi rata-rata muka air} = 17,5 \text{ m}$$

$$\text{Sw} = \text{Wave Set Up}$$

dimana besar Sw dihitung dengan cara:

$$Sw = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H}{gT^2}} \right] H \tag{9}$$

= 0,112 m

$$\text{SLR} = \text{Sea Level Rise} = 0,9946 \text{ m}$$

Sehingga elevasi muka air :

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air} &= \text{MHWL} + \text{Sw} + \text{SLR} \\ &= 17,5 + 0,112 + 0,9946 \\ &= 18,607 \text{ m} \approx 18,700 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 3. Rekapitulasi Desain Armour tiap Zona

Zona	Kemiringan	Tebal 1 (m)	Tebal 2 (m)	Berm (m)	SF overall
1	1:2	1,2	0,6	1,2	1,51
2	1:2	1,2	0,6	1,2	1,9
3	1:2	1,2	0,6	1,2	1,53
4	1:2	1,2	0,6	1,2	1,96
5	1:2	1,2	0,6	1,2	1,52
6	1:2	1,2	0,6	1,2	1,34

Elevasi puncak = EL.rencana + Run up + Freeboard
dimana :

$$EL.rencana = 18,700 \text{ m}$$

$$Run \text{ up} = \text{kenaikan gelombang}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan bilangan Ir [3]:

$$H = 0,720 \text{ m}$$

$$T = 4,3 \text{ detik}$$

$$Lo = 1,56 T^2 = 1,56 (4,3^2) = 28,844$$

$$tg \theta = 0,5$$

$$I_r = \frac{tg \theta}{\left(\frac{H}{Lo}\right)^{0,5}} = \frac{0,5}{\left(\frac{0,720}{28,844}\right)^{0,5}} = 3,165 \quad (10)$$

$$Ru/H = 1,3$$

$$Ru = H \times 1,3 = 0,720 \times 1,3 = 0,936 \text{ m} \approx 1,00 \text{ m}$$

Sehingga tinggi elevasi adalah:

$$\begin{aligned} \text{Elevasi puncak} &= EL.rencana + Run \text{ up} + \text{Freeboard} \\ &= 18,600 \text{ m} + 1 \text{ m} + 1 \\ &= 20,700 \text{ m} = 21,000 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Lapisan Pelindung Pertama

Berat lapisan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut[3]:

$$W = \frac{\gamma \times H^3}{K_D \times (Sr - 1)^3 \times \cot \theta} \quad (11)$$

$$= 111,834 \text{ kg}$$

Diameter batu

$$D = \left[\frac{W}{\gamma} \right]^{1/3} = 0,223 \text{ m} \quad (12)$$

Lebar mercu

$$B = n_p k_\Delta \left[\frac{W}{\gamma} \right]^{1/3} = 0,739 \text{ m} \quad (13)$$

≈ 2 meter (untuk keamanan dan maintance)

Tebal Lapisan

$$t = n_r k_\Delta \left[\frac{W}{\gamma} \right]^{1/3} = 0,927 \text{ m} \quad (14)$$

≈ 1 m

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk lapisan kedua dan lapisan berm.

3) Stabilitas Armor

Berdasarkan SNI 8460 Pasal 7.5.5 Tahun 2017[4], SF rencana diambil 1,5. Setelah dilakukan permodelan menggunakan program bantu, didapatkan nilai safety faktor sebesar 1,51 > 1,5 sehingga stabilitasnya dapat dikatakan aman dan stabil untuk menahan sliding atau tergelincirnya armour.

Sedangkan untuk besar daya dukung tanah dihitung dengan cara berikut[5]:

$$\sum V = 415 \text{ kN/m}^2$$

$$A = 40 \text{ m}$$

$$q \text{ maks} = \sum V / A \quad (14)$$

Tabel 4. Gaya Aktif Tanah

	Gaya	Lengan (m)	Momen
Pa1	8,130	1,250	10,162
Pa2	15,667	1,667	26,111
Pa3	276,240	8,750	2,417,104
Pa4	361,010	11,667	4,211,778
Pa5	82,083	18,750	1,539,051
Pa6	9,679	19,167	185,518
Pa7	609,395	22,500	13,711,391
Pa8	40,562	23,333	946,437
Pa9	138,104Do	25+0,5Do	3453Do + 69,052 Do ²
Pa10	1,622Do ²	25+0,67Do	40,562 Do ² + 1,082 Do ³
	$\sum Ma$		23047,552+3452,6Do+109,613Do ² +1,082Do ³

Tabel 5. Gaya Pasif Tanah

	Gaya	Lengan (m)	Momen
Pp1	346,199	18,750	6491,236
Pp2	46,572	19,167	892,634
Pp3	357,595	22,500	8045,888
Pp4	89,676	23,333	2092,446
Pp5	107,390Do	25+0,5Do	2685Do + 52,695 Do ²
Pp6	3,587Do ²	25+0,67Do	89,676 Do ² + 2,391 Do ³
	$\sum Ma$		17522,204+2684,7Do+143,371Do ² +2,391Do ³

$$= 415 / 40$$

$$= 10,375 \text{ kN/m}^2$$

$$q \text{ ult} = CNc + \frac{1}{2} \gamma B N\gamma \quad (15)$$

$$= (24,516)(5,14) + \frac{1}{2} (4,185) (40)(0)$$

$$= 126,0102 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = q \text{ ult} / q \text{ maks}$$

$$= 126,0102 / 10,375$$

$$= 12,146 > 3 \text{ (Memenuhi)}$$

4) Settlement Armor

$$Po' = 21,970 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta P = 203,746 \text{ kN/m}^2$$

Besar settlement pada lapisan tanah 1 dihitung dengan cara [1]:

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{pc' + Cc H}{pc'} + \frac{Cc H}{1 + e_0} \left(\frac{po + \Delta p}{pc'} \right) \quad (17)$$

$$Sc = 1,55 \text{ m}$$

Untuk zona lainnya dihitung dengan cara yang sama dengan hasil terlihat pada Tabel 3.

D. Secant pile

1) Mencari kedalaman penanam secantpile

Mencari kedalaman penanam secantpile dengan cara mencari sigma momen yang terjadi akibat gaya aktif dan pasif tekanan tanah dan juga tekanan air. Setelah diketahui persamaan momennya maka akan didapatkan panjang secantpile yang masuk kedalam tanah[5]. Dari perhitungan

Tabel 6. Rekapitulasi Desain Secantpile tiap Zona

Zona	D (mm)	Tul lentur	Panjang pemasangan (m)	SF Geser	SF overall	Displacement (mm)
1	2000	45D57	61	5,44	5,74	25,2
2	1600	40D36	55	8,93	5,97	21,3
3	1800	52D36	57	7,85	8,7	21,6
4	1600	42D36	53	9,7	8,17	19,3
5	2000	46D57	61	5,25	6,58	25,3
6	2000	40D57	60	5,05	6,9	24,6

gaya aktif dan pasif, maka akan diperoleh besar momen terjadi, yaitu:

$$\sum M = Ma - Mp$$

$$= [1,082Do^3 + 109,613 Do^2 + 3452,6 Do + 23047,552] - [2,391 Do^3 + 143,371 Do^2 + 2684,7 Do + 17522,204]$$

$$\sum M = -1,310 Do^3 - 33,758 Do^2 + 767,854 Do + 5525,348$$

dengan cara coba-coba, didapatkan nilai Do

$$Do_1 = 18,43544 \rightarrow \text{dipilih}$$

$$Do_2 = -38,2186$$

$$Do_3 = -5,98632$$

$$SF \text{ rencana} = 1,5$$

$$Do = 1,5 \times 18,43544$$

$$= 27,6531 \text{ m} \approx 28 \text{ m}$$

Panjang secantpile yang tertanam kedalam tanah :

$$2,5 + 5 + 28 = 35,5 \text{ m}$$

Panjang total dari secantpile = 20 m + 35,5 m = 55,5 m

Setelah diketahui kedalaman dari secantpile, selanjutnya mencari momen maksimum yang terjadi. Momen maksimum yang terjadi dicari dengan melakukan penurunan terhadap $\sum M$.

dilakukan penurunan, sehingga persamaan menjadi:

$$M = -3,929 Do^2 - 67,515 Do + 767,854$$

Momen maksimum adalah:

$$Do_1 = 7,817 \text{ m} \rightarrow \text{dipilih}$$

$$Do_2 = -53,479 \text{ m}$$

Sehingga besar momen maksimum adalah:

$$M_{maks} = -1,310 Do^3 - 33,758 Do^2 + 767,854 Do + 5525,348$$

$$= 8839,282 \text{ kNm}$$

2) Perencanaan Tulangan

Dengan program bantu, dicek pemasangan tulangan 40D36 dengan besar $\rho = 2,00 \% < 6\%$.

Kapasitas momen yang sanggup ditahan oleh secantpile sebesar 9212 kNm < Mmaks = 8839,282 kNm

3) Stabilitas Secantpile

- Stabilitas Geser

$$\sum Pp = 21861,979 \text{ kN}$$

$$\sum Pa = 2449,339 \text{ kN}$$

$$SF = \sum Pp / \sum Pa$$

$$= 21861,979 \text{ kN} / 2449,339 \text{ kN}$$

$$= 8,93 > 1,5$$

- Kontrol Overall stability

Berdasarkan permodelan dengan menggunakan program bantu didapatkan nilai safety faktor sebesar 5,97 > 1,5 sehingga stabilitasnya dapat dikatakan aman dan stabil.

Hasil dari desain perkuatan *secantpile* dapat dilihat pada Tabel 6.

E. SUPW (Sistem Urug dengan Perkuatan Wadah)

Berikut merupakan data perencanaan :

$$\text{Lebar panel} = 2,200 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi panel} = 1,500 \text{ m}$$

$$fc' = K-350$$

$$\text{Tulangan} = 5D25$$

$$\gamma_{\text{tanah isi}} = 14,000 \text{ kN/m}^3$$

1) Menentukan lebar SUPW

Dengan menggunakan program bantu, dilakukan permodelan untuk mencari lebar SUPW untuk menahan timbunan agar stabil.

SF rencana = 1,5 (SNI 8460 Pasal 7.5.5. Tahun 2017)[4]

Tabel 7. Rekapitulasi Desain SUPW tiap Zona

Zona	Lebar (m)	SF terhadap		Sc (m)
		SF overall	bearing capacity	
1	24,2	1,57	3,48	1,561
2	13,2	1,66	28,29	0,656
3	13,2	1,65	4,34	0,475
4	11	1,9	27,16	0,641
5	24,5	1,54	7,2	1,498
6	22	1,63	3,13	0,585

Hasil dari permodelan pada program bantu Geofive didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Lebar} = 11 \times 2,2$$

$$= 24,2 \text{ m}$$

$$SF = 1,57 > 1,5 \text{ (Memenuhi)}$$

2) Menentukan Bearing Capacity dengan menggunakan cara berikut[5]:

$$q \text{ maks} = \sum V / A \tag{18}$$

$$= 339,835 \text{ kN/m}^2 / 24,2$$

$$= 24,274 \text{ kN/m}^2$$

$$q \text{ ult} = 1,3 C Nc + q Nq + 0,4 \gamma B N\gamma \tag{19}$$

$$= 1,3 (42,947)(5,14) + (43,939 \times 1) + 0,4$$

$$(4,185) (24,2) (0)$$

$$= 339,835 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = q \text{ ult} / q \text{ maks}$$

$$= 339,835 / 24,274$$

$$= 3,485 > 3 \text{ (Memenuhi)}$$

3) Menentukan besar settlement

Besar settlement pada lapisan tanah I dihitung dengan cara [1]:

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{pc'}{po} + \frac{Cc H}{1 + e_0} \left(\frac{po + \Delta p}{pc'} \right) \tag{20}$$

$$Sc = 1,51 \text{ m}$$

Sehingga besar settlement total:

$$Sc = Sc + Si = 0,428 + 0,0026 = 0,431 \text{ m}$$

Hasil dari perencanaan perkuatan SUPW dapat dilihat pada Tabel 7.

V. KESIMPULAN

Dari 60 data tanah berupa SPT, dilakukan zoning dengan berdasarkan nilai SPT. Hasil dari zoning yang dilakukan didapatkan 6 zona. Untuk zona 1,2 dan 4 didominasi tanah lempung dengan konsistensi *very soft* sampai *hard*. Untuk zona 3,5, dan 6 terdapat lapisan tanah pasir dengan konsistensi *very loose* sampai *dense*, namun tetap didominasi tanah lempung dengan konsistensi *very soft* sampai *hard*.

Tinggi timbunan pelaksana dan besar penurunan tanah tiap zona adalah sebagai berikut:

- Zona 1	- Zona 2
Hi= 22,918 m	Hi= 22,035 m
Sc= 3,283 m	Sc= 2,400 m
- Zona 3	- Zona 4
Hi= 21,691 m	Hi= 22,371 m
Sc= 1,637 m	Sc= 2,736 m
- Zona 5	- Zona 6
Hi= 23,001 m	Hi= 21,176 m
Sc= 3,366 m	Sc= 1,041 m

Pola pemasangan PVD yang dipilih adalah pola pemasangan segitiga. Jarak pemasangan PVD untuk Zona 1 dan 2 adalah 0,6 m; Zona 3 adalah 1 m; Zona 4 adalah 0,9 m; sedangkan untuk Zona 5 dan 6 jarak pemasangannya

adalah 0,5 m. PVD dipasang hingga kedalaman tanah *compressible*.

Hasil perencanaan perkuatan lereng dengan sistem armour dengan kemiringan 1:2 didapatkan hasil tebal *primary layer* setebal 1,2 m, *secondary layer* setebal 0,6 m, dan *berm* setebal 1,2 m. Setelah di cek dengan menggunakan program bantu, didapatkan besar stabilitasnya untuk zona 1, zona 3, zona 5, dan zona 6 adalah sebesar 1,5 sampai 1,53. Sedangkan untuk zona 2 dan zona 4 adalah 1,9 dan 1,96. Selain itu, dicek besar kapasitas daya dukung tanah adalah antara 11,5 sampai 62,9.

Perkuatan Secantpile didapatkan hasil kedalaman tanam secantpile adalah antara 33 m sampai dengan 41 m. Pada zona 1, zona 5, dan zona 6 menggunakan diameter 2 m, untuk zona 2 dan zona 4 menggunakan diameter 1,6 m, sedangkan untuk zona 3 menggunakan 1,8 m. Setelah dicek dengan program bantu didapatkan hasil SF antara 5,74 sampai 8,7 . Untuk besar displacement antara 19,3 mm sampai 25,3 mm.

Hasil perencanaan perkuatan timbunan dengan menggunakan perkuatan SUPW dengan ukuran panel SUPW adalah 2,2 m x 1,5 m. Untuk zona 1 dan zona 5 dibutuhkan lebar 24,2 m atau 11 panel. Untuk zona 2 dan zona 3 dibutuhkan lebar 13,2 m atau 6 panel. Untuk zona 4 adalah

11 m atau 5 panel, sedangkan untuk zona 6 adalah 22 m atau 10 panel.

Dengan lebar tersebut, dengan menggunakan program bantu didapatkan nilai stabilitasnya adalah antara 1,54 sampai 1,9. Dan juga nilai SF terhadap bearing capacity antara 9,09 sampai dengan 22,46.

Sehingga dapat disimpulkan, dari hasil perencanaan perkuatan lereng dengan sistem armor, perkuatan secantpile dan perkuatan SUPW apabila dipilih perkuatan yang ditinjau dari segi kekuatan dan stabilitasnya maka dipilih perkuatan dengan menggunakan *secantpile*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Wahyudi, Herman. 1997. *Teknik Reklamasi*. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil.
- [3] Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 498/KPTS/M/2005. *Perencanaan Jeti Tipe Rubble Mound untuk Penanggulangan Penutupan Muara Sungai oleh Sedimen*
- [4] SNI 2847-2013. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
- [5] Das, Braja M. (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II*. Jakarta: Erlangga