

KOMPARASI PENURUNAN DAN WAKTU KONSOLIDASI ANATAR PVD POLA SEGIEMPAT DAN SEGITIGA BERBASIS PERHITUNGAN EMPIRIS DAN NUMERIS

Rani Apriyani^{1,*}), Senja Rum Harnaeni¹⁾, Sri Sunarjono¹⁾, Mochamad Solikin¹⁾

¹⁾*Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl.A.Yani, Mendungan, Pabelan, Kec.Kartasura, Kabupaten Sukoharjo,
Jawa Tengah 57162*

^{*}*Correspondent Author: s100220001@student.ums.ac.id*

Abstract

Infrastructure development in soft clay soil conditions will have an impact on the low bearing capacity of the soil and a decrease in the value of the soil's carrying capacity. Increasing the bearing capacity of the soil is carried out using PVD based on empirical and numerical calculations to produce settlement values and PVD consolidation times for rectangular and triangular patterns. In this research, the results obtained from empirical calculations are that the triangle pattern is the most appropriate pattern to be applied in this case because it has a fast consolidation time value for BH 04, 05, 06, respectively, only takes 125, 124, 128 days with large decline 0.00903, 0.9012, 0.85743. Meanwhile, in numerical calculations, the triangle pattern has a fast time for BH 04, 05, 06 respectively requiring 280, 190, 134 days with a decrease of 0.0112000, 0.0001781, 0.0000006.

Keywords: *consolidation, settlement, plaxis, PVD*

PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur jalan di Indonesia menjadi prioritas utama pemerintah dalam mendukung roda perekonomian serta kesejahteraan masyarakat. Dalam hal pembangunan, permasalahan yang paling mendasar adalah mengenai geoteknik tanah. Potensi kegagalan geoteknik dalam pembangunan infrastruktur jalan disebabkan oleh nilai daya dukung tanah yang rendah dan besarnya nilai kemampatan. Pemampatan tanah dapat menyebabkan penurunan yang besar, akibat dari tanah yang diberi beban sehingga air yang mengisi pori tanah akan keluar. Nilai penurunan yang besar dapat terjadi pada jenis tanah lempung lunak sehingga tidak dapat

mendukung pembangunan struktur diatasnya. Seperti pada proyek pembangunan jalan BOB Plono-Nglinggo dengan kondisi jenis tanah lempung lunak. Tanah lempung lunak sendiri berkaitan dengan rendahnya nilai daya dukung tanah, tingginya nilai kompresibilitas serta nilai penurunan. Dalam meminimalisir nilai penurunan serta memaksimalkan nilai derajat konsolidasi untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah dapat dilakukan menggunakan perbaikan tanah *prefabricated vertical drain* (PVD). *Prefabricated vertical drain* merupakan sebuah perbaikan tanah yang dapat digunakan pada tanah lunak dengan permeabilitas yang rendah serta kompresibilitas yang

tinggi, *prefabricated vertical drain* dapat dikombinasikan dengan prapembebanan (*preloading*) atau biasa disebut dengan tanah timbunan (SNI-8460:2017, 2017).

Pola segiempat pada pemasangan *prefabricated vertical drain* dianggap efektif dalam mengurangi penurunan tanah, menggunakan jarak 1,3 meter. Sesuai dengan permasalahan geoteknik tanah yang terdapat di lapangan (Yamazoe et al., 2023)(Jostad et al., 2018)(Feng et al., 2022). Kasus perilaku tanah lunak dengan penggunaan *prefabricated vertical drain* dilakukan pada sebuah pembangunan tanggul, dengan penggunaan pola segitiga. Evaluasi kinerja tanggul dipertimbangkan dengan menggunakan perhitungan numerik serta pengukuran yang dilakukan dilapangan. Hasilnya menunjukkan bahwa permeabilitas pada smear zone dapat mempengaruhi penggunaan *prefabricated vertical drain*, dalam hal penurunan konsolidasi. Penurunan yang terjadi pada kaki tanggul akan memiliki nilai yang lebih tinggi(Kuganeswaran et al., 2021). Sedangkan pada penggunaan PLAXIS 2D menghasilkan penurunan yang cukup akurat selama proses konsolidasi (Mamat et al., 2022)(Kaisarta & Ilyas, 2021). Sebelumnya (Hayati et al., 2021) melakukan penelitian *prefabricated vertical drain* dengan menggunakan pola segitiga (Qi et al., 2020)(Irfan et al., 2021) pada jarak *prefabricated vertical drain* 1,3 meter. Perubahan daerah perairan yang akan digunakan menjadi daerah dermaga, dengan

karakteristik tanah eksisting adalah tanah lunak dan kadar air tinggi. *Prefabricated vertical drain* digunakan untuk mempercepat proses konsolidasi. Dari hasil penelitian diperoleh besar nilai penurunan sebesar 2,288 m tanpa memperhitungkan efek smear zone dan nilai 1,922meter dengan memperhitungkan efek smear zone, menggunakan PLAXIS 2D. Sedangkan dengan menggunakan PLAXIS 3D tanpa memperhitungkan efek smear zone sebesar 2,077 m dan dengan memperhitungkan efek smear zone sebesar 1,930 m.

Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi masalah perbaikan tanah lunak yang ada pada proyek pembangunan Jalan BOB Plono-Nglinggo, Kulonprogo Yogyakarta, dengan cara mengevaluasi penggunaan perbaikan tanah *prefabricated vertical drain* dengan memodelkan dua macam pola. Diawali dengan studi perilaku interaksi tanah lunak yang diperbaiki menggunakan *prefabricated vertical drain*. Penerapan perbaikan *prefabricated vertical drain* dilakukan dengan memvariasikan pola *prefabricated vertical drain*, untuk mengetahui waktu penurunan dan derajat konsolidasi yang terjadi. Variasi yang selanjutnya dilakukan terhadap perhitungan, antara perhitungan empiris dan numeris untuk mengetahui penurunan dan waktu derajat konsolidasi setiap variasinya. Dari hasil penelitian yang dilakukan diharapkan dapat menemukan pola penggunaan *prefabricated vertical drain* yang tepat untuk digunakan

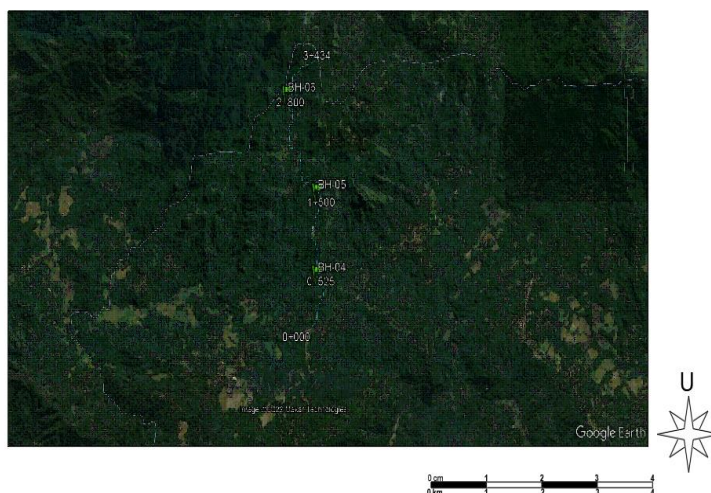
dengan petimbangan perhitungan empiris dan numeris.

METODE PENELITIAN

Metode perhitungan empiris merupakan metode perhitungan yang dilakukan berdasarkan pengalaman yang dikumpulkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya atau pengembangan teori-teori lampau menggunakan rumus matematika. Sedangkan metode perhitungan numeris merupakan metode perhitungan menggunakan metode komputasi atau alogaritma dalam penyelesaian masalah matematika yang kompleks. Pada penelelitian ini perhitungan numeris memanfaatkan bantuan aplikasi PLAXIS (Atmika, 2016). Data yang digunakan dalam

penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer berupa data topografi. Pekerjaan konstruksi penelitian ini dilakukan pada pembangunan Jalan BOB (Badan Otorita Borobudur) Ruas Plono-Nglinggo, Kabupaten Kulonprogo Yogyakarta. Yang terbagi dalam tiga titik bor diantaranya BH 04, BH 05, BH 06 pada Gambar 1.

Data tanah dasar yang digunakan berasal dari data sekunder yang merupakan hasil sampel tanah percobaan tanah hasil data laboratorium dan bor log SPT, terbagi dalam tiga pada titik bor yaitu BH-04, BH-05, BH-06. Profil tanah berdasarkan hasil laboratorium didapatkan nilai parameter tanah Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi konstruksi pembangunan Jl.Plono – Nglinggo

Tabel 1. Parameter tanah berdasarkan hasil laboratorium

Lap.Tanah	NSPT	γ_{unsat}	γ_{sat}	K_x	K_y	V_{nu}	E_{ref}	C_{ref}	Phi	Psi	
BH-04	0-5	6	63.1	79.7	8.64E-05	8.64E-05	0.33	60.667	35.316	25.392	-4.608
	5-10	10	99.9	108.5	8.64E-05	8.64E-05	0.33	82.306	58.860	28.416	-1.584
	10-15	60	81.2	103.2	8.64E-05	8.64E-05	0.33	56.038	353.160	47.863	17.863
BH-05	0-5	7	151.3	104.1	8.64E-05	8.64E-05	0.33	74.717	41.202	26.225	-3.775
	5-11	60	174	209	86.4	86.4	0.1	1900120	353.160	47.863	17.863

Lap.Tanah	NSPT	γ_{unsat}	γ_{sat}	K_x	K_y	V_{nu}	E_{ref}	C_{ref}	Phi	Psi	
11-15	60	46	127	86.4	86.4	0.1	3083520	353.160	47.863	17.863	
15-19	60	254	262	86.4	86.4	0.1	9730060	353.160	47.863	17.863	
BH-06	0-5	4	70.6	90.9	8.64E-05	8.64E-05	0.33	74.667	23.544	23.485	-6.515
	5-10	12	96.5	155.8	8.64E-05	8.64E-05	0.33	23.333	70.632	29.697	-0.303
	10-15	60	229	247	86.4	86.4	0.1	4854620	353.160	47.863	17.863

Penelitian ini terdiri dalam empat tahap yang harus dilakukan untuk mendapatkan sebuah kesimpulan, yaitu:

1. Tahap 1, yaitu perumusan tujuan masalah serta studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini.
2. Tahap 2, yaitu pengumpulan data penelitian berupa data topografi, data laboratorium, dan data Borlog SPT.
3. Tahap 3, yaitu pembahasan mengenai penyelesaian masalah, dengan merencanakan PVD yang akan digunakan kemudian menghitung nilai penurunan dan derajat konsolidasi PVD dengan pola segiempat dan segitiga,

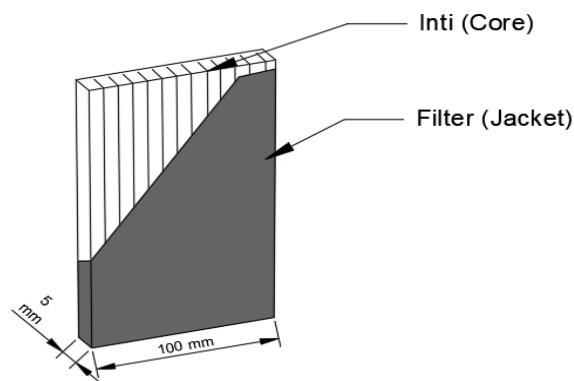
menggunakan perhitungan empiris dan perhitungan numeris.

4. Tahap 4, merupakan tahap akhir dalam penelitian untuk merekomendasi pola segiempat atau pola segitiga yang tepat digunakan pada kondisi yang ada dilapangan dengan menggunakan perhitungan empiris dan perhitungan numeris.

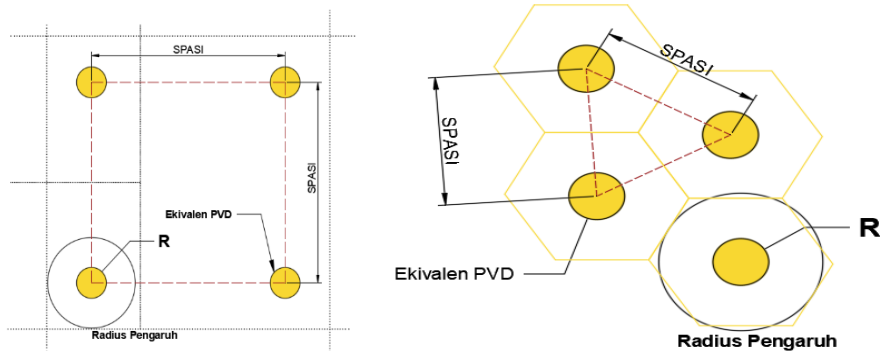
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rencana Permodelan PVD

Ukuran PVD yang digunakan memiliki tebal sebesar 0.005 m dan memiliki lebar sebesar 0.1meter Gambar 2. Pola yang digunakan yaitu pola segiempat dan pola segitiga Gambar 3.



Gambar 2. Prefabricated Vertical Drain



Gambar 3. Pola PVD Segiempat dan Segitiga

Perhitungan Empiris

Dalam menentukan perbandingan antara penurunan tanah dan waktu konsolidasi digunakan perhitungan empiris.

a) Perhitungan penurunan konsolidasi primer

Nilai penurunan primer dapat di dapatkan dengan menggunakan Persamaan 1.

$$S_p = \frac{C_c \times H}{1+e_o} \text{Log} \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (1)$$

S_p : Penurunan primer (m)

C_c : Indeks pemampatan

H : Tebal lapisan tanah sub-lapisan (m)

e_o : Angka Pori

P_o : Tegangan Overburden efektif (t/m^2)

Δ_p : Penambahan tegangan vertikal (t/m^2)

$$S_p = \frac{0.0027172 \times 3 \times 100}{1+2.374} \text{Log} \frac{2.436 + 6.192}{2.436}$$

$$S_p = 1 \text{ cm atau } 0.01 \text{ m}$$

b) Perhitungan empiris tanpa PVD

Nilai perhitungan untuk mengetahui lama waktu konsolidasi yang dibutuhkan tanpa menggunakan

perbaikan PVD dihitung dengan metode konsolidasi 1-D Terzaqi. Sebelumnya perlu diketahui nilai faktor waktu vertikal dengan menggunakan Persamaan 2.

$$T_v = \frac{t \times C_v}{(H^2 dr)} \quad (2)$$

T_v : Faktor waktu vertikal

t : Waktu konsolidasi

C_v : Koefisien konsolidasi vertikal

Hdr : Panjang aliran (0,5 H)

$$T_v = \frac{100 \times (8.64 \times 10^{-4})}{(3^2 \times 0.5)}$$

$$T_v = 0.1920$$

Setelah mendapatkan nilai faktor waktu vertikal, kemudian dapat dihitung nilai derajat konsolidasi vertikal serta penurunan yang terjadi dengan menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4.

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times T_v}{\pi}\right)^{2.8}\right)^{0.179}} \quad (3)$$

U_v : Derajat konsolidasi vertikal

T_v : Faktor waktu vertikal

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0.1920}{3.14}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0.1920}{3.14}\right)^{2.8}\right)^{0.179}}$$

$$U_v = 49.2860 \%$$

$$S = U_v \times S_p \quad (4)$$

U_v : Derajat konsolidasi vertikal

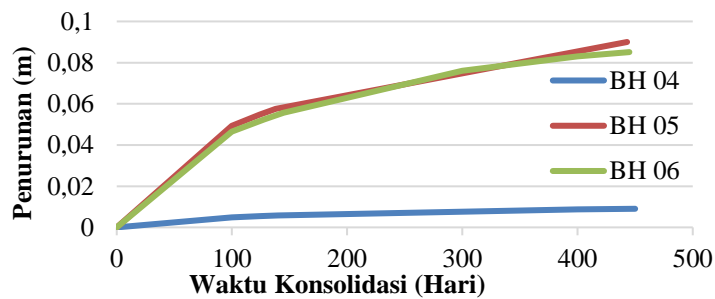
S_p : Penurunan primer (m)

$$S = \frac{49.2860 \times 0.01}{100}$$

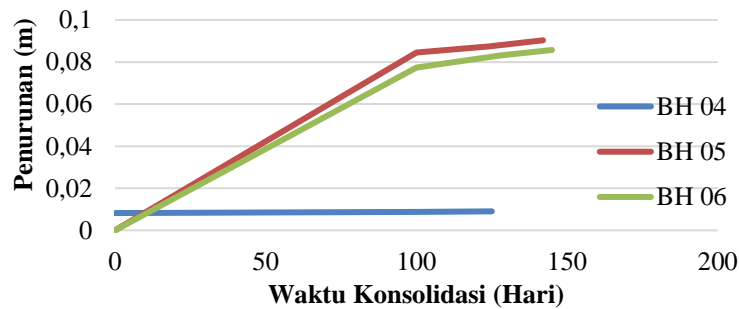
$$S = 0.004929 \text{ m}$$

Hubungan antara penurunan dan waktu tanpa menggunakan PVD Gambar 4, hubungan penurunan dan waktu menggunakan PVD pola segiempat Gambar 5 dan pola

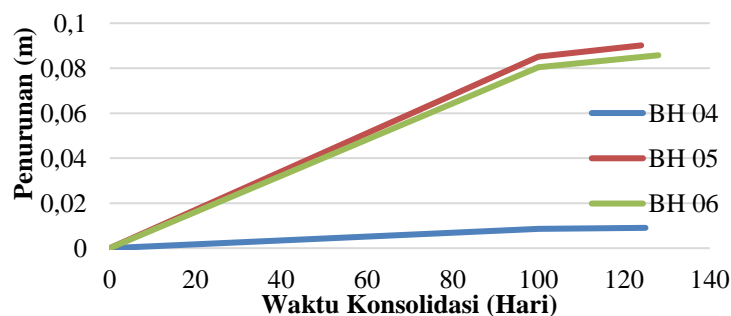
segitiga Gambar 6. Hubungan antara kedalaman dan lateral displacement pada Gambar 7. Hubungan antara tekanan angka pori dan waktu pada perhitungan empiris PVD pola segiempat Gambar 8, sedangkan PVD pola segitiga Gambar 9. Pada perhitungan numeris PVD pola segiempat Gambar 10, sedangkan PVD pola segitiga Gambar 11.



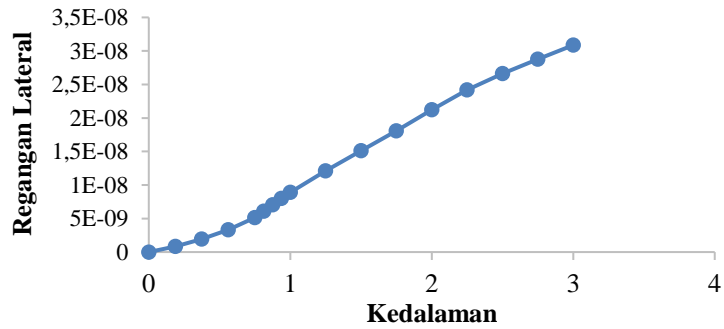
Gambar 4. Grafik hubungan penurunan dan waktu tanpa PVD



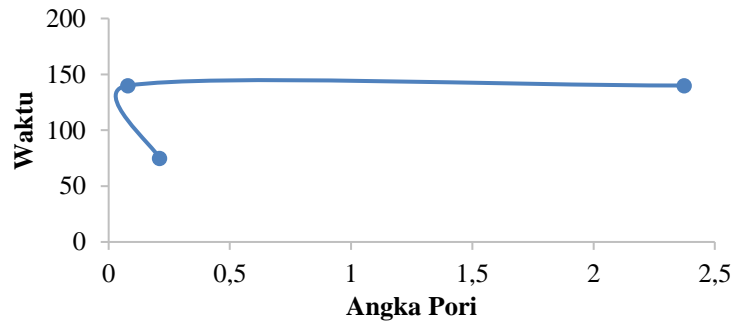
Gambar 5. Grafik hubungan penurunan dan waktu PVD pola segiempat



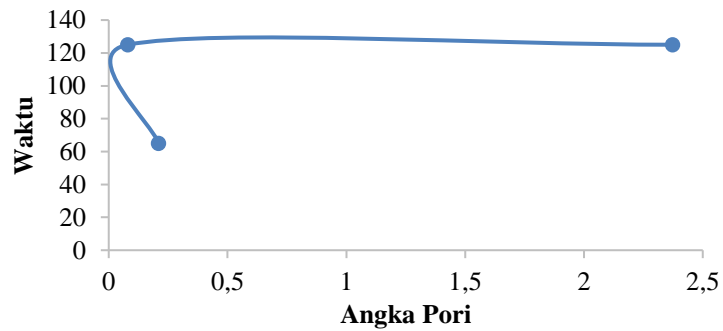
Gambar 6. Grafik hubungan penurunan dan waktu PVD pola segitiga



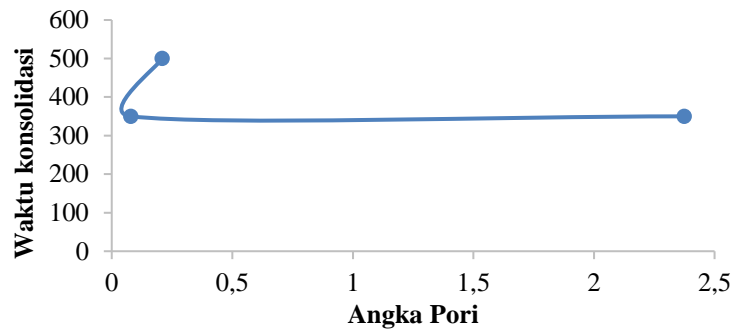
Gambar 7. Grafik hubungan kedalaman dan regangan lateral



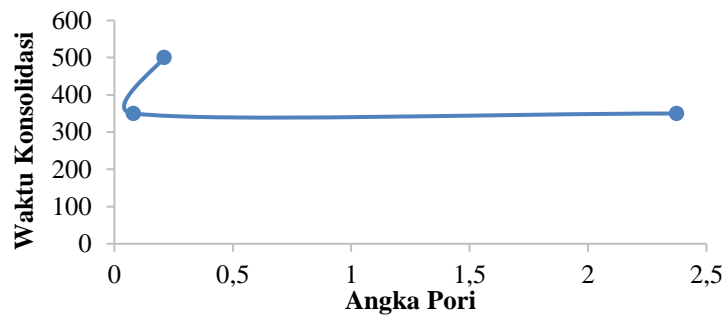
Gambar 8. Grafik hubungan tekanan air pori dan waktu PVD pola segiempat empiris



Gambar 9. Grafik hubungan tekanan air pori dan waktu PVD pola segitiga empiris



Gambar 10. Grafik hubungan tekanan air pori dan waktu PVD pola segiempat numeris



Gambar 11. Grafik hubungan tekanan air pori dan waktu PVD pola segitiga numeris

c) Perhitungan empiris dengan PVD pola segiempat dan segitiga

Nilai perhitungan untuk mengetahui lama waktu konsolidasi yang dibutuhkan dalam mencapai derajat konsolidasi 90% menggunakan perbaikan PVD menggunakan pola segiempat. dihitung dengan metode konsolidasi 1-D Terzaqi. Sebelum perhitungan derajat konsolidasi maka terlebih dahulu dihitung nilai faktor hambatan dengan menggunakan Persamaan 5.

$$F(n) = \ln \frac{D_e}{D_w} - \frac{3}{4} \quad (5)$$

$$F(n) = \ln \frac{1.469}{0.06688} - \frac{3}{4}$$

$$F(n) = 2.3395$$

Setelah faktor hambatan diketahui nilainya, maka selanjutnya dicari nilai faktor waktu horizontal dengan menggunakan Persamaan 6.

$$T_h = \frac{c_h x t}{D e^2} \quad (6)$$

$$T_h = \frac{0.00648 x 100}{(1.469)^2}$$

$$T_h = 0.3003$$

Setelah nilai faktor hambatan dan faktor waktu horizontal didapatkan, selanjutnya dicari nilai derajat konsolidasi horizontal dengan menggunakan Persamaan 7.

$$U_h = 1 - \exp \left(\frac{-8 x T_h}{F(n)} \right) \quad (7)$$

$$U_h = 1 - \exp \left(\frac{-8 x 0.3003}{2.3395} \right)$$

$$U_h = 0.6419$$

Setelah mendapatkan nilai derajat konsolidasi horizontal maka selanjutnya dihitung nilai derajat konsolidasi total dengan menggunakan Persamaan 8.

$$U = 1 - (1 - U_v) (1 - U_h) * 100 \quad (8)$$

$$U = 1 - (1 - 0.4929) (1 - 0.6419) * 100$$

$$U = 81.8376\%$$

Kemudian dicari nilai penurunan dengan menggunakan PVD pola

segiempat dengan menggunakan Persamaan 9.

$$S = \frac{U \times S_p}{100} \quad (9)$$

$$S = \frac{81.8376 \times 0.01}{100}$$

$$S = 0.00818 \text{ m}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan empiris dengan PVD pola segiempat dan pola segitiga hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan empiris dengan PVD pola segiempat

t	Th	Uh	Tv	Uv	U(%)	S
0	0	0	0.000000	0	0	0
100	0.3002835	0.6418668	0.1920000	0.4928591	81.8376017	0.0081838
125	0.3753543	0.7229516	0.2400000	0.5494205	87.5167657	0.0087517
140	0.4203968	0.7625007	0.2688000	0.5801037	90.0274925	0.0090027
400	1.2011338	0.9835495	0.7680000	0.8784311	99.8000136	0.0099800

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan empiris dengan PVD pola segitiga

t	Th	Uh	Tv	Uv	U(%)	S
0	0	0	0.000000	0	0	0
100	0.347784	0.707070	0.192000	0.492859	85.144309	0.008514
125	0.434730	0.784496	0.240000	0.549420	90.289833	0.009029
140	0.486898	0.820746	0.268800	0.580104	92.473174	0.009247

Perhitungan Numeris

Dalam menentukan perbandingan antara penurunan tanah dan waktu konsolidasi digunakan perhitungan numeris dengan bantuan program

aplikasi PLAXIS. Data-data yang dibutuhkan dalam pengaplikasian tanah dengan menggunakan program aplikasi PLAXIS dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi parameter data tanah program PLAXIS

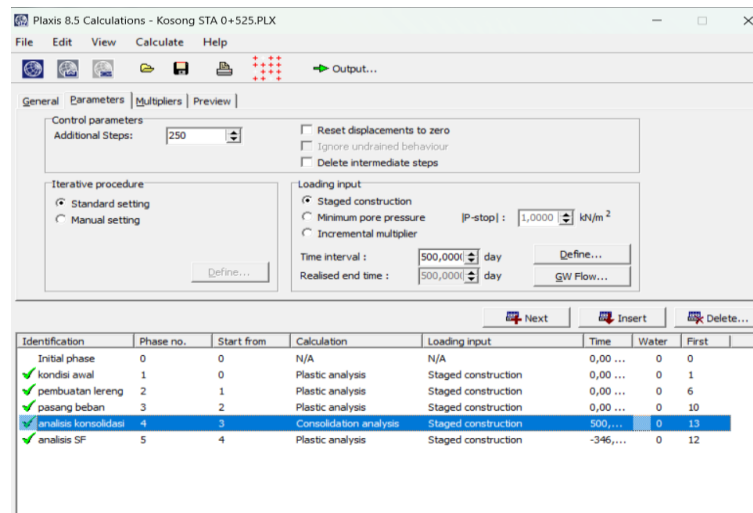
Lap.Tanah	γ_{unsat}	γ_{sat}	K_x	K_y	V_{nu}	E_{ref}	C_{ref}	Phi	Psi	
BH-04	0-5	63.1	79.7	8.64E-05	8.64E-05	0.33	60.667	35.316	23.485	-6.515
	5-10	99.9	108.5	8.64E-05	8.64E-05	0.33	82.306	58.860	25.954	-4.046
	10-15	81.2	103.2	8.64E-05	8.64E-05	0.33	56.038	353.160	41.833	11.833
BH-05	0-5	151.3	104.1	8.64E-05	8.64E-05	0.33	74.717	41.202	24.165	-5.835
	5-11	174	209	86.4	86.4	0.1	1900120	353.160	41.833	11.833
	11-15	46	127	86.4	86.4	0.1	3083520	353.160	41.833	11.833
	15-19	254	262	86.4	86.4	0.1	9730060	353.160	41.833	11.833

Lap.Tanah		γ_{unsat}	γ_{sat}	K_x	K_y	V_{nu}	E_{ref}	C_{ref}	Phi	Psi
BH-06	0-5	70.6	90.9	8.64E-05	8.64E-05	0.33	74.667	23.544	21.928	-8.072
	5-10	96.5	155.8	8.64E-05	8.64E-05	0.33	23.333	70.632	27	-3
	10-15	229	247	86.4	86.4	0.1	4854620	353.160	41.833	11.833

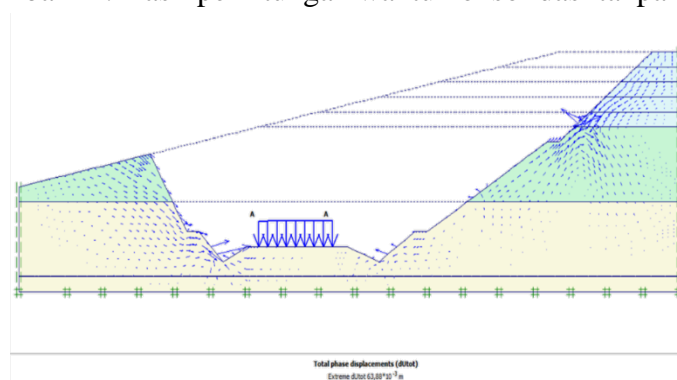
Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan software PLAXIS didapatkan nilai penurunan dan derajat konsolidasi tanpa atau dengan menggunakan PVD. Masing-masing hasil dari software PLAXIS dengan contoh perhitungan pada BH-04 dapat

dilihat dalam gambar-gambar dibawah ini.

a) Perhitungan numeris tanpa PVD
Perhitungan numeris tanpa PVD hasil waktu konsolidasi Gambar 12 dan penurunan Gambar 13.



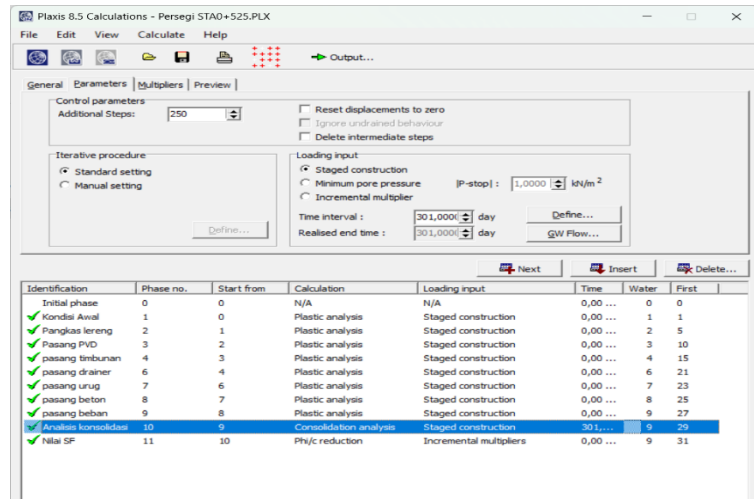
Gambar 12. Hasil perhitungan waktu konsolidasi tanpa PVD



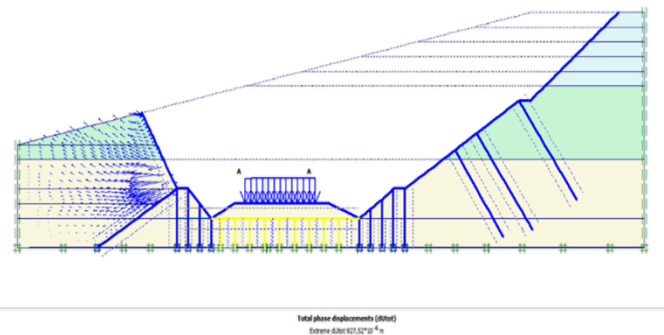
Gambar 13. Hasil perhitungan penurunan tanpa PVD

b) Perhitungan numeris dengan PVD pola segiempat

Perhitungan numeris tanpa PVD hasil perhitungan waktu konsolidasi Gambar 14 dan penurunan pada 15.

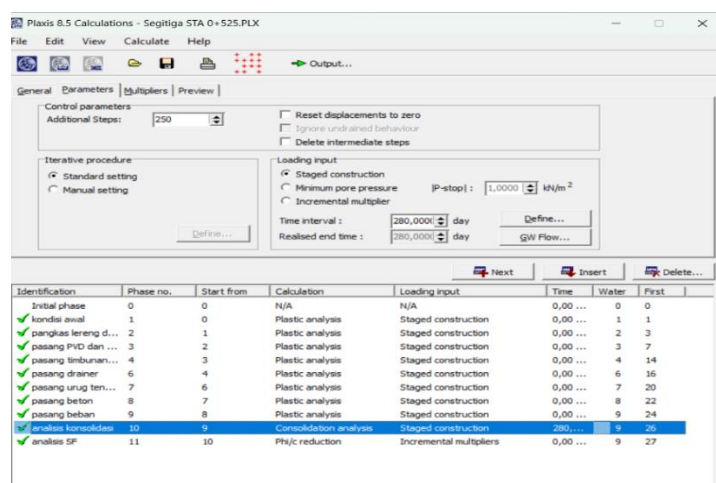


Gambar 14. Hasil perhitungan waktu konsolidasi pola segiempat

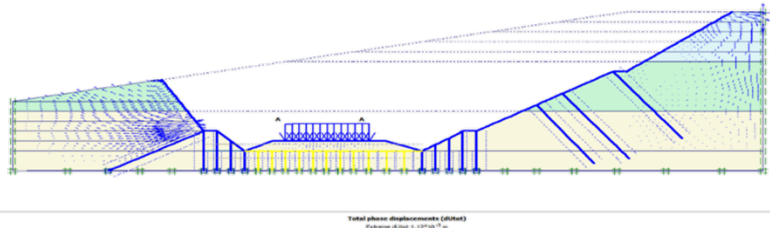


Gambar 15. Hasil perhitungan penurunan pola segiempat

- c) Perhitungan numeris dengan PVD pola segitiga Perhitungan numeris tanpa PVD pola segitiga
 hasil waktu konsolidasi Gambar 16 dan penurunan Gambar 17.



Gambar 16. Hasil perhitungan waktu konsolidasi pola segitiga



Gambar 17. Hasil perhitungan penurunan pola segitiga

Rekapitulasi Hasil Perhitungan Empiris dan Numeris

Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan dan derajat konsolidasi

pada penelitian ini disajikan dalam dua jenis perhitungan yaitu perhitungan empiris dan perhitungan numeris tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan penurunan tanah

Identitas	Titik	Hasil Penurunan Numeris	Hasil Penurunan Empiris	Waktu Konsolidasi Numeris	Waktu Konsolidasi Empiris
Tanpa perbaikan	BH-04	0.0638800	0.00903	500	450
	BH-05	1.3600000	0.09001	400	443
	BH-06	0.0004115	0.08511	500	445
PVD Pola Segiempat	BH-04	0.0009270	0.00900	301	140
	BH-05	0.0000629	0.09019	205	142
	BH-06	0.0000006	0.08572	150	145
PVD Pola Segitiga	BH-04	0.0112000	0.00903	280	125
	BH-05	0.0001781	0.09012	190	124
	BH-06	0.0000006	0.85743	134	128

SIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan data laboratorium dan borlog SPT pada pembangunan Jalan BOB ruas Plono-Nglinggo ukuran PVD yang ditetapkan yaitu lebar 0.1 m dan tebal 0.005 m dengan jarak spasi 1.3 m. Hasil perhitungan empiris dan perhitungan numeris menunjukkan bahwa PVD menggunakan pola segitiga lebih rendah waktu konsolidasi dan penurunan dibandingkan dengan menggunakan PVD pola segiempat. Pada perhitungan empiris PVD pola segiempat didapatkan hasil waktu konsolidasi pada BH 04, 05, 06 yaitu

140, 138, 145 hari dengan nilai penurunan sebesar 0.00900, 0.09019, 0.08572. sedangkan pada pola segitiga didapatkan hasil waktu konsolidasi pada BH 04, 05, 06 yaitu 125, 124, 128 hari dengan nilai penurunan sebesar 0.00903, 0.9012, 0.85743. Pada perhitungan numeris PVD pola segiempat didapatkan hasil waktu konsolidasi pada BH 04, 05, 06 yaitu 301, 205, 150 hari dengan nilai penurunan sebesar 0.0009270, 0.0000629, 0.0000006 sedangkan pada pola segitiga didapatkan hasil waktu konsolidasi yaitu 280, 190, 134 hari dengan besar penurunan 0.0112000, 0.0001781, 0.0000006.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmika, I.K.A., 2016, Metode Numerik. In *Informatika* (Issue August).
- Feng, S., Lei, H., & Lin, C., 2022, Analysis of ground deformation development and settlement prediction by air-boosted vacuum preloading. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14 (1), 272–288.
- Hayati, T.T., Roesyanto, R., & Iskandar, R., 2021, Analysis of the Smear Zone Effect due to PVD Installation on the Embankment Consolidation Process with 2D and 3D Plaxis. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26 (2), 140–149.
- Irfan, D., Yusa, M., & Fatnanta, F., 2021, Pengaruh Efek Smear Terhadap Pola Pemasangan dan Jarak Pemasangan Pada Perbaikan Tanah Dengan Prefabricated Vertical Drain. *Jurnal Teknik*, 15 (1), 35–42.
- Jostad, H.P., Palmieri, F., Andresen, L., & Boylan, N., 2018, Numerical prediction and back-calculation of time-dependent behaviour of Ballina test embankment. *Computers and Geotechnics*, 93, 123–132.
- Kaisarta, A.M., & Ilyas, T., 2021, Finite Element Modeling of Soil Improvement Using Vacuum Consolidation with Vertical Drain Method (Case Study: Apartment Project, Tangerang). *SSRN Electronic Journal*.
- Kuganeswaran, N., Rahim, A., & Ali, N., 2021, Consolidation in Soft Soil – Case Study on Prefabricated Vertical Drains (PVDs). *The Open Civil Engineering Journal*, 15 (1), 310–319.
- Mamat, R.C., Ramli, A., Khahro, S. H., & Yusoff, N.I.M., 2022, Numerical Simulation and Field Measurement Validation of Road Embankment on Soft Ground Improved by Prefabricated Vertical Drains: A Comparative Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12 (16).
- Qi, C., Li, R., Gan, F., Zhang, W., & Han, H., 2020, Measurement and Simulation on Consolidation Behaviour of Soft Foundation Improved with Prefabricated Vertical Drains. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 6 (2), 1–10.
- SNI-8460:2017, 2017, SNI 8460-2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik, 8460*, 2017.
- Yamazoe, N., Tanaka, H., Nishimura, S., & Hayashi, H., 2023, Analysis of long-term settlement of road embankment on peat ground during its service period. *Soils and Foundations*, 63 (5), 101362.