

Analisis Konsolidasi dengan Metode Preloading dikombinasikan dengan PVD berdasarkan Perhitungan Analitis dan Plaxis 2d

Baby Purba, Roesyanto, Gina Cyntia Raphita, Rudianto Surbakti

Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Email: bebipurba@gmail.com, roesyantos@yahoo.com, gina.hasibua@usu.ac.id,
rudiantosurbakti@polmed.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Diterima 5 Desember 2022 Direvisi 12 Desember 2022 Disetujui 15 Desember 2022	Tanah lunak memiliki karakteristik tanah yang buruk. Tanah ini umumnya memiliki sifat kompreibilitas yang tinggi, permeabilitas yang rendah dan daya dukung yang rendah. Perbaikan tanah dengan preloading dan PVD merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang umum dilakukan untuk mempercepat proses terjadinya konsolidasi pada tanah. Pembebanan awal dilakukan dengan tujuan mengkonsolidasi lapisan tanah lunak dengan besar pembebanan yang sama atau lebih daripada beban yang akan dipikul oleh tanah baik saat maupun setelah konstruksi. Sedangkan drainase vertikal dapat mempercepat proses konsolidasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besar penurunan konsolidasi dengan menggunakan metode analitis dan metode elemen hingga dengan pemodelan pada PLAXIS 2D, pengaruh permodelan menggunakan quadratic triangle element (6 titik nodal) dengan quartic triangle element (15 titik nodal) terhadap besar konsolidasi dan waktu proses kalkulasi. Metode yang digunakan pada Tesis ini adalah dengan metode analitis menggunakan teori Terzaghi dan metode element hingga menggunakan PLAXIS 2D. Dari hasil analisis diperoleh bahwa penggunaan quadratic triangle element 6 titik nodal dan 15 titik nodal tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil penurunannya, namun berpengaruh besar pada lama proses kalkulasinya. Setelah dilakukan analisis menggunakan permodelan 2D dengan menggunakan quadratic triangle element dengan 6 titik nodal dan quartic triangle element 15 titik nodal diperoleh penurunan sebesar -6,673 meter untuk 6 titik nodal dan -6,669 meter untuk 15 titik nodal.
Kata kunci: Preloading, Quadratic Triangle Element, Quartic Triangle Element, Konsolidasi, PLAXIS.	
Keywords: Preloading, Quadratic Triangle Element, Quartic Triangle Element, Consolidation, PLAXIS.	ABSTRACT <i>Soft soil has poor soil characteristics. These soils generally have high compressibility, low permeability and low carrying capacity. Soil improvement by preloading and PVD is one of the common soil improvement methods to speed up the process of soil consolidation. The initial loading is carried out with the aim of consolidating the soft soil layer with the same or more loading amount than the load that will be carried by the soil both during and after construction. While vertical drainage can speed up the consolidation process. This analysis aims to determine the magnitude of consolidation settlement using analytical methods and finite element methods with PLAXIS 2D modeling, the effect of modeling using quadratic triangle elements (6 nodal points) and quartic triangle elements (15 nodal points) on the consolidation magnitude and calculation processing time. The method used in this thesis is the analytical</i>

method using Terzaghi's theory and the finite element method using PLAXIS 2D. From the results of the analysis it was found that the use of a quadratic triangle element with 6 nodal points and 15 nodal points did not have a significant effect on the reduction results, but had a large effect on the length of the calculation process. After analyzing using 2D modeling using a quadratic triangle element with 6 nodal points and a quartic triangle element with 15 nodal points, a decrease of -6.673 meters for 6 nodal points and -6.669 meters for 15 nodal points is obtained.

Pendahuluan

Dalam proses perencanaan konstruksi di bidang teknik sipil, persoalan geoteknik merupakan salah satu objek yang penting. Salah satu permasalahan geoteknik adalah daya dukung tanah yang merupakan pondasi dari suatu konstruksi. Setiap konstruksi direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki beban tertentu dan pada elevasi tertentu yang terkadang tidak dapat dilayani oleh kondisi tanah eksisting karena karakteristik tanah yang lunak.

Tanah lunak memiliki karakteristik tanah yang buruk (Chairullah, 2011). Tanah ini umumnya memiliki sifat kompreibilitas yang tinggi, permeabilitas yang rendah dan daya dukung yang rendah. Salah satu faktor yang menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah adalah tanah ini memiliki kadar air yang tinggi. Selain itu, tingginya tingkat kompreibilitas pada tanah lunak disebabkan oleh angka pori yang tinggi. Jika tanah tersebut diberi beban, maka air maupun udara yang mengisi pori-pori tanah akan keluar sehingga terjadi pemampatan tanah yang menandakan adanya penurunan yang terjadi pada tanah (Gunasro et al., 2017).

Kondisi tersebut merupakan kondisi yang tidak baik jika digunakan sebagai tanah dasar untuk sebuah konstruksi di atasnya. Konstruksi akan rusak karena adanya penurunan tanah yang terjadi. Hal ini lebih fatal jika penurunan yang terjadi bersifat setempat. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan perbaikan pada tanah lunak yang akan digunakan sebagai pondasi suatu konstruksi. Salah satu cara yang terbaik adalah mengganti tanah dasar tersebut dengan jenis tanah yang cukup baik, namun hal ini membutuhkan biaya yang cukup besar.

Metode pembebanan awal (preloading) dan drainase vertikal adalah salah satu metode yang populer yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Pembebanan awal dilakukan dengan tujuan mengkonsolidasi lapisan tanah lunak dengan besar pembebanan yang sama atau lebih daripada beban yang akan dipikul oleh tanah baik saat maupun setelah konstruksi. Sedangkan drainase vertikal dapat mempercepat proses konsolidasi. Perkembangan sistem drainase vertikal adalah penggunaan PVD (Prefabricate Vertical Drain). PVD dipasang untuk mengalirkan air yang terdisipasi akibat proses konsolidasi. PVD mengalirkan air secara vertikal keatas lalu menuju drainase horizontal. Namun pada saat pemasangan PVD, alat yang digunakan (mandrel) merusak daerah tanah disekitarnya sehingga mempengaruhi koefisien permeabilitas horizontal dari tanah sehingga mengurangi laju air yang masuk menuju PVD.

Dalam perencanaan perbaikan tanah dibutuhkan analisis penurunan dan waktu konsolidasi, sehingga dapat diperkirakan besar penurunan yang harus dicapai hingga konsolidasi sembilan puluh persen dan waktu yang dibutuhkan untuk proses tersebut. Proyek

Reklamasi Belawan Phase I merupakan salah satu proyek yang menggunakan perbaikan tanah dengan metode preloading dan PVD. Beberapa analisis terkait konsolidasi pada proyek tersebut juga sudah dilakukan.

Berdasarkan (Ohoimas & Hamdhan, 2015) melakukan analisis konsolidasi dengan menggunakan metode preloading dan vertical drain pada areal reklamasi pengembangan pelabuhan belawan. Hasil analisis ini adalah perbedaan besar penurunan yang tidak signifikan antara timbunan dengan metode preloading dengan metode preloading dan vertical drain. Dan jarak vertical drain yang mempengaruhi lamanya penurunan yang terjadi. Analisis dilakukan menggunakan PLAXIS 2D. Hayati (2018) melakukan analisis pengaruh smear zone pada penurunan dan waktu konsolidasi dengan PLAXIS 2D dan 3D pada proyek reklamasi Belawan phase II. Hasil analisis disimpulkan bahwa perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan PLAXIS 3D dengan efek smear zone menghasilkan penurunan yang lebih mendekati nilai di lapangan sesuai dengan data settlement plate yaitu sebesar 1,992 m. Waktu penurunan konsolidasi yang terjadi pada perhitungan PLAXIS 2D dan 3D dengan memperhitungkan efek smear zone lebih lama dari pada tanpa memperhitungkan efek smear zone. Perhitungan penurunan dan waktu konsolidasi menggunakan pemodelan PLAXIS 3D memberikan hasil yang lebih mendekati kondisi di lapangan dibandingkan pemodelan dengan PLAXIS 2D. (Wulandari, 2020) melakukan analisis pengaruh penggunaan mesh pada penelitian konsolidasi di proyek Reklamasi 2020. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan besar penurunan konsolidasi menggunakan metode perhitungan analitis dan PLAXIS 3D tipe mesh very fine relatif mendekati kondisi yang terjadi di lapangan, di mana besar penurunan settlement plate S29 di lapangan adalah 7,19 m. Pengaruh kehalusan mesh terhadap prediksi besar penurunan pada PLAXIS 2D relatif linier dengan persentasi perbandingan pada mesh tipe very coarse = 3,37%, coarse = 3,21%, medium = 3,84%, fine = 4,12% dan very fine = 4,19%. Sedangkan pengaruh kehalusan mesh terhadap prediksi besar penurunan pada PLAXIS 3D adalah fluktuatif, dengan persentasi perbandingan penurunan di lapangan pada tipe mesh very coarse = -4,39%, coarse = -2,88%, medium = -5,66%, fine = -7,83% dan very fine=-3,25%.

(Apriyani et al., 2016) menyimpulkan bahwa besarnya mesh tidak mempengaruhi besar penurunan dan waktu konsolidasi yang terjadi. Namun smear zone mempengaruhi waktu konsolidasi tanah akibat koefisien permeabilitas yang mengecil. Hal tersebut dikemukakan berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan PLAXIS 2D.

(Meiwa et al., 2017) melakukan analisis konsolidasi dengan PVD untuk kondisi axisymmetric dan beberapa metode ekuivalensi plane strain menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan pemodelan dan eksekusi menggunakan PLAXIS 2D didapat bahwa metode (Indraratna & Redana, 1997) memiliki hasil yang paling mendekati axisymmetric terutama pada kondisi PVD dengan smear zone dibandingkan metode (Hird et al., 1995) dan metode (Chai et al., 2001). Metode Hird cukup mendekati analisis axisymmetric dibandingkan hasil Chai. Dan pada pemodelan plane strain, pemodelan PVD menggunakan smear zone lebih mendekati pengukuran di lapangan daripada tanpa smear zone.

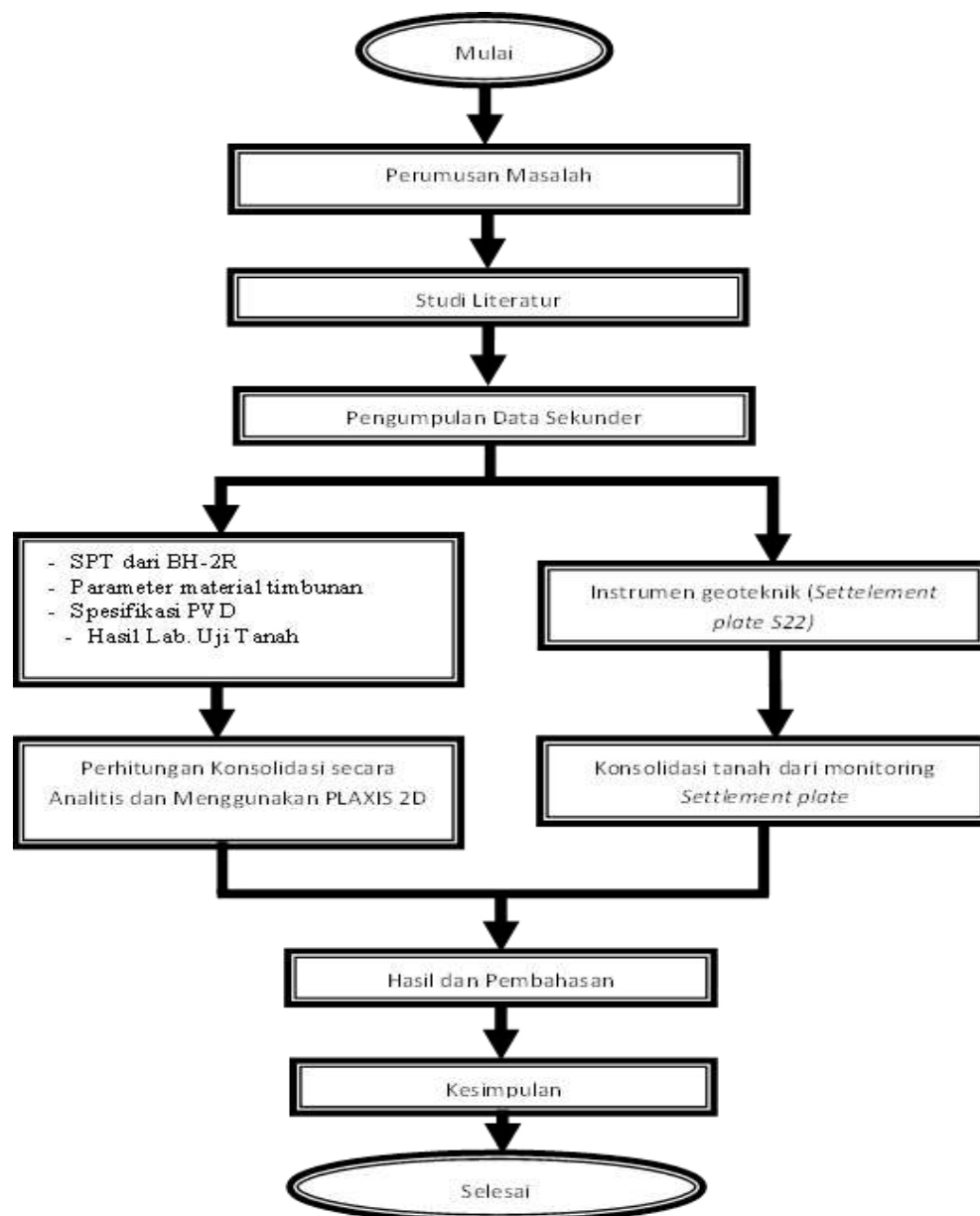
Pada penelitian ini akan dilakukan analisis konsolidasi bantuan PLAXIS 2D menggunakan menggunakan pemilihan jenis elemen yang berbeda yaitu quadratic triangle

element (6 titik nodal) dan quadratic triangle element (15 titik nodal). Perhitungan juga akan dilakukan dengan metode analitis dengan rumus Terzaghi 1 dimensi. Hasil dari perhitungan Terzaghi 1 dimensi dan PLAXIS 2D dengan kondisi elemen yg berbeda akan dibandingkan dengan hasil observasi di lapangan sehingga didapat hasil yang paling mendekati dengan kondisi lapangan. Area yang akan ditinjau adalah area yang berdekatan dengan Bore Hole (BH-2R) dengan tinjauan settlement plate (S22) dan yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah titik lokasi analisis dan perhitungan pengaruh efek smear terhadap permeabilitas tanah yang digunakan adalah metode Indraratna. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tika Ermita berada pada settlement plate 29 dan menggunakan data BH-01, penelitian sebelumnya berjarak 75 meter dari penelitian ini.

Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif. Penelitian ini menggunakan data dari proyek Reklamasi Belawan Phase I. Data teknis yang digunakan berupa data parameter tanah yang diperoleh dari pengujian lapangan dan laboratorium, gambar kerja dan spesifikasi material timbunan dan PVD yang digunakan pada proyek tersebut.

Dalam penelitian ini, digunakan dua metode analisis yakni dengan perhitungan dengan rumus empiris Terzaghi 1 dimensi dan pemodelan metode elemen hingga menggunakan Plaxis 2D. Adapun alur dari penelitian ini disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

A. Perhitungan Konsolidasi Terzaghi 1-Dimensi Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Perhitungan konsolidasi dilakukan meliputi perhitungan penurunan dan waktu konsolidasi yang terjadi untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Pada perhitungan ini diasumsikan hanya lapisan tanah asli yang akan mengalami penurunan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan prinsip penurunan dari persamaan normal consolidated 1-D Terzaghi. Penurunan tanah yang terjadi dihitung per lapisan tanah dengan nilai indeks pemampatan yang berbeda pada setiap lapisannya. Data-data lapisan tanah yang hasil pengujian laboratorium yang dijadikan dasar perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data lapisan tanah pada lokasi penelitian

Data Properties	Lapisan Tanah				
	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5
Tebal Lapisan	13,00	8,00	10,00	13,00	16,00
Indeks Pemampatan (c_c)	0,39	0,33	0,37	0,88	1,17
Angka Pori (e_o)	2,43	2,11	2,09	2,95	2,11
γ_{unsat}	7,60	8,40	8,50	6,70	8,40
γ_{sat}	13,70	14,10	15,20	12,90	14,10

Selain data parameter tanah, tahapan konstruksi di lapangan juga diperlukan dalam analisis ini. Adapun tahapan pelaksanaan penimbunan reklamasi adalah sebagai berikut.

1. Tahap 1: penimbunan reklamasi dari seabed sampai elevasi 2,8 mLWS (lapisan 1) selama 3 hari
2. Tahap 2: Penimbunan reklamasi tahap 2 dari elevasi 2,8 s/d 4,0 mLWS (lapisan 2) selama 3 hari
3. Tahap 3: pemasangan PVD selama 10 hari
4. Tahap 4: penimbunan preloading tahap 1 setinggi 0,7 lapisan 1 selama 20 hari
5. Tahap 6: penimbunan preloading tahap 2 setinggi 0,3 meter selama 16 hari
6. Tahap 8 : penimbunan preloading tahap 3 setinggi 3,3 m selama 26 hari
7. Tahap 9: penimbunan preloading tahap 4 setinggi 2,4 m selama 6 hari
8. Tahap 10: konsolidasi selama 92 hari

Adapun uraian perhitungan penurunan lapisan tanah adalah sebagai berikut:

1. Penimbunan reklamasi 1

$$H_{\text{timbunan}} = 2,8 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{timbunan}} = 14,84 \text{ kN/m}^3$$

$$\Delta P = 41,552 \text{ kN/m}^2$$

- a. Tegangan overburden tanah lapisan 1

$$H = 13 \text{ m}$$

$$Z = 6,5 \text{ m}$$

$$\gamma = 13,7 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{01} &= Z \times \gamma \\ &= 13/2 \text{ m} \times (13,7 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \\ &= 25,285 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- b. Tegangan overburden tanah lapisan 2

$$H = 8 \text{ m}$$

$$Z = 4 \text{ m}$$

$$\gamma = 14,1 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{02} &= 13 \text{ m} \times (13,7 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) + 8/2 \text{ m} \times (14,1 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \\ &= 67,73 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- c. Tegangan overburden tanah lapisan 3

$$H = 10 \text{ m}$$

$$Z = 5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\gamma &= 15,2 \text{ kN/m}^3 \\ P_{03} &= 13 \text{ m} \times (13,7 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) + 8 \text{ m} \times (14,1 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) + \\ &10/2 \times (15,2 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \\ &= 111,84 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan overburden lapisan 4 dan 5.

2. Besar penurunan maksimum akibat reklamasi 1

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned}c_c &= 0,39 \\ e_{01} &= 2,43 \\ S_{p1} &= \frac{0,39 \times 13}{1+2,43} \log \left(\frac{25,285+41,552}{25,285} \right) \\ &= 0,624 \text{ m}\end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$\begin{aligned}c_c &= 0,33 \\ e_{02} &= 2,11 \\ S_{p2} &= \frac{0,33 \times 8}{1+2,11} \log \left(\frac{67,730+41,552}{67,730} \right) \\ &= 0,176 \text{ m}\end{aligned}$$

c. Lapisan 3

$$\begin{aligned}c_c &= 0,37 \\ e_{03} &= 2,09 \\ S_{p3} &= \frac{0,37 \times 10}{1+2,09} \log \left(\frac{111,84+41,552}{111,84} \right) \\ &= 0,164 \text{ m}\end{aligned}$$

d. Lapisan 4

$$\begin{aligned}c_c &= 0,88 \\ e_{04} &= 2,95 \\ S_{p4} &= \frac{0,88 \times 13}{1+2,95} \log \left(\frac{158,875+41,552}{158,875} \right) \\ &= 0,292 \text{ m}\end{aligned}$$

e. Lapisan 5

$$\begin{aligned}c_c &= 1,165 \\ e_{05} &= 2,11 \\ S_{p5} &= \frac{1,165 \times 16}{1+2,11} \log \left(\frac{213,80+41,552}{213,80} \right) \\ &= 0,462 \text{ m}\end{aligned}$$

Total penurunan akibat pembebanan reklamasi under water adalah

$$\begin{aligned}S_1 &= S_{p1} + S_{p2} + S_{p3} + S_{p4} + S_{p5} \\ &= 0,624 + 0,176 + 0,164 + 0,292 + 0,462 \\ &= 1,719 \text{ meter}\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan penurunan pada setiap lapisan untuk masing-masing tahapan timbunan. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil penurunan yang terjadi dari perhitungan analitis

Fase timbunan	Tinggi timbunan (meter)	Besarnya penurunan tanah (meter)					Jumlah
		Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	
Reklamasi <i>under water</i>	2.80	0.624	0.176	0.164	0.292	0.462	1.719
Reklamasi <i>above water</i>	1.20	0.342	0.086	0.077	0.134	0.208	0.847
<i>Preloading 1</i>	0.70	0.221	0.053	0.046	0.080	0.123	0.523
<i>Preloading 2</i>	0.30	0.104	0.023	0.020	0.035	0.054	0.236
<i>Preloading 3</i>	3.30	0.692	0.201	0.189	0.338	0.537	1.956
<i>Preloading 4</i>	2.40	0.564	0.156	0.144	0.254	0.401	1.519
Total penurunan							6.801

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 2, total penurunan yang terjadi setelah konsolidasi terjadi 100% dengan persamaan Terzaghi adalah 6,801 m.

B. Verifikasi Pemodelan PVD

Perverifikasi pemodelan vertical drain dilakukan dengan mengekuivalenkan vertikal drain yang setempat-setempat menjadi menerus (plane strain) untuk PLAXIS 2D (Roesyanto & Iskandar, n.d.). Pengekuivalenan tersebut dilakukan dengan cara:

1. Diambil satu segmen *vertical drain* yang terpasang di lapangan ukuran 150 x 150 cm²
2. Menentukan jari-jari ekuivalen PVD

$$d_w = \frac{2(10 + 0,4)}{3,14} = 6,624 \text{ cm}$$

$$r_w = \frac{6,624}{2} = 3,312 \text{ cm}$$

3. Menentukan diameter mandrel

$$d_m = \sqrt{\frac{4x(4x13)}{3,14}} = 8,139 \text{ cm}$$

4. Menentukan jari-jari ekuivalen *smear zone*,

$$d_s = 3 \times 8,139 = 24,417 \text{ cm}$$

$$r_s = \frac{24,417}{2} = 12,208 \text{ cm}$$

5. Menentukan jari-jari ekuivalen zona pengaruh PVD

$$D_e = 1,05 \times 150 \text{ cm} = 157,5 \text{ cm}$$

$$r_e = \frac{157,5}{2} = 78,75 \text{ cm}$$

C. Perhitungan Waktu Konsolidasi dengan Menggunakan PVD

Perhitungan derajat konsolidasi menggunakan PVD (NINGSIH, 2018) akan dihitung untuk pola pemasangan segitiga dengan jarak pemasangan 1,5 m. Kedalaman PVD adalah 44 m. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus Barron (1948) yang dikembangkan oleh (Kjellman, 1949).

Adapun proses perhitungannya sebagai berikut:

1. Pola pemasangan PVD segitiga dengan jarak 1,5 m.

$$n = \frac{78,75}{3,312} = 23,78$$

$$C_v = 0,00687 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$C_h = 2 \times 0,00687 \text{ m}^2/\text{hari} = 0,0137 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$t = 1 \text{ hari}$$

Besar faktor waktu pengaliran vertikal dengan *vertical drain*.

$$T_v = \frac{0,00687 \times 1}{22^2} = 1,419 \times 10^{-5}$$

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times 1,419 \times 10^{-5}}{3,14}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 1,419 \times 10^{-5}}{3,14}\right)^{2,8}\right)^{0,179}} = 0,00425$$

Dihitung nilai F

$$F = \ln(23,78) - 0,75 = 2,42$$

Besar faktor waktu radial dihitung dengan Persamaan berikut.

$$T_r = \frac{0,013 \times 1}{1,575^2} = 0,0055$$

Sehingga besar derajat konsolidasi radial didapat.

$$U_r = 1 - e^{\frac{-8 \times 0,0055}{2,42}} = 0,018$$

Besar derajat konsolidasi dengan pemasangan PVD didapat.

$$U = 1 - (1 - 0,00425)(1 - 0,018) = 0,022$$

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Waktu Penurunan dengan PVD

t (hari)	T _v	U _v	T _r	U _r	U
1	1,42E-05	0,004	0,006	0,018	0,022
2	2,84E-05	0,006	0,011	0,036	0,042
3	4,26E-05	0,007	0,017	0,053	0,060
10	1,42E-04	0,013	0,055	0,167	0,179
20	2,84E-04	0,019	0,111	0,307	0,320
50	7,10E-04	0,030	0,277	0,600	0,612
70	9,94E-04	0,036	0,388	0,723	0,732
100	1,42E-03	0,043	0,554	0,840	0,847
120	1,70E-03	0,047	0,665	0,889	0,894
130	1,85E-03	0,048	0,720	0,908	0,912
150	2,13E-03	0,052	0,831	0,936	0,939

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, waktu konsolidasi dengan pemasangan PVD adalah 130 hari.

D. Analisis Pemodelan dengan Plaxis 2D

Setelah perhitungan secara analitis dilakukan, selanjutnya analisis dilanjutkan dengan pemodelan menggunakan PLAXIS 2D. Pemodelan dilakukan dengan pemodelan plane strain. Dalam analisisnya, pemodelan dengan PLAXIS 2D membutuhkan data input

material yang dimodelkan (Romanel, 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan korelasi input material yang kurang terhadap hasil pengujian tanah di lapangan. Adapun data parameter input material disajikan pada Tabel 4.

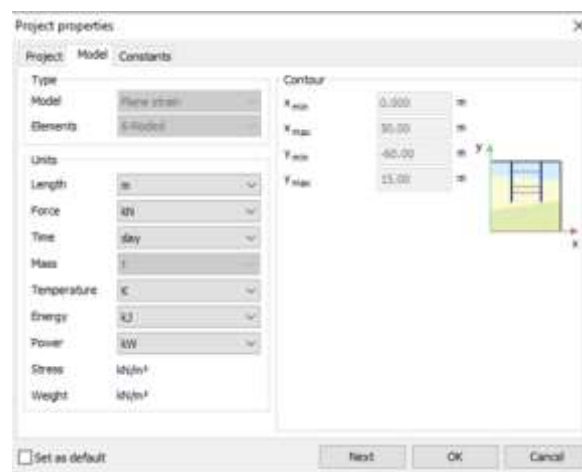
Dalam proses pemodelan, penggambaran area reklamasi tidak dilakukan secara menyeluruh sesuai kondisi di lapangan. Hal ini disebabkan tidak memungkinkannya penggambaran untuk daerah yang sangat luas karena keterbatasan kapasitas perangkat dan waktu mengeksekusi. Karena hal tersebut maka dilakukan penggambaran hanya pada area yang dianggap mewakili kondisi tanah hasil Borehole-2R dan hasil pengamatan dari Settlement Plate-22.

Tabel 4. Parameter input material pemodelan PLAXIS 2D

Parameter	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Timbunan	PVD
Jenis Tanah	<i>Silty clay 1</i>	<i>Silty clay 2</i>	<i>Silty clay 3</i>	<i>Silty clay 4</i>	<i>Silty clay 5</i>	<i>sand</i>	
Ketebalan(m)	13	7	10	13	16		
Tipe	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drain</i>	<i>Drain</i>
γ_{sat} (kN/m ³)	13,7	14,1	15,2	12,9	14,1	19,5	19,5
γ_{dry} (kN/m ³)	7,6	8,4	8,5	6,7	8,4	14,3	14,3
c (kN/m ²)	10	10	14	13	10	2	2
ϕ (°)	5,61	6,50	6,03	6,03	6,50	33	33
E (kN/m ²)	1000	1000	2500	2500	1000	25000	25000
K _x (m/hari)	0,00864	0,00864	0,00864	0,00864	0,00864	8,64	8,64
K _y (m/hari)	0,00864	0,00864	0,00864	0,00864	0,00864	8,64	8,64
μ	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,3	0,3

1. Pemodelan Plaxis 2D Quadratic triangle element (6 titik nodal)

Pada analisis ini, pemodelan konstruksi timbunan reklamasi menggunakan jumlah titik nodal sebanyak 6 di setiap elemen nya (Zardari et al., 2014). Adapun pengaturan proyek yang digunakan disajikan pada Gambar 2. Tahap selanjutnya adalah penggambaran konstruksi timbunan dan input material seperti yang terlihat pada Gambar 3.

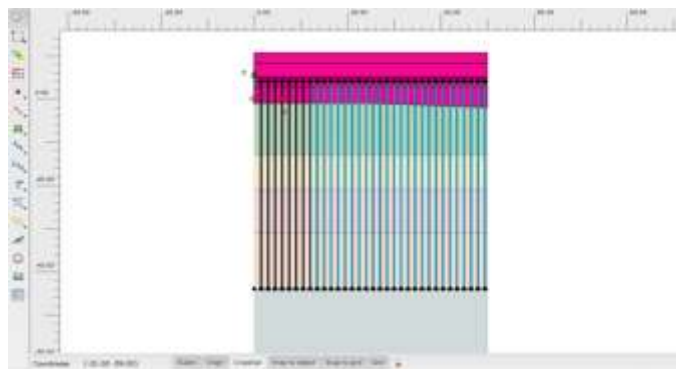


Gambar 2. Pengaturan project properties pada PLAXIS 2D dengan 6 titik nodal

Analisis Konsolidasi dengan Metode Preloading dikombinasikan dengan PVD berdasarkan Perhitungan Analitis dan Plaxis 2D

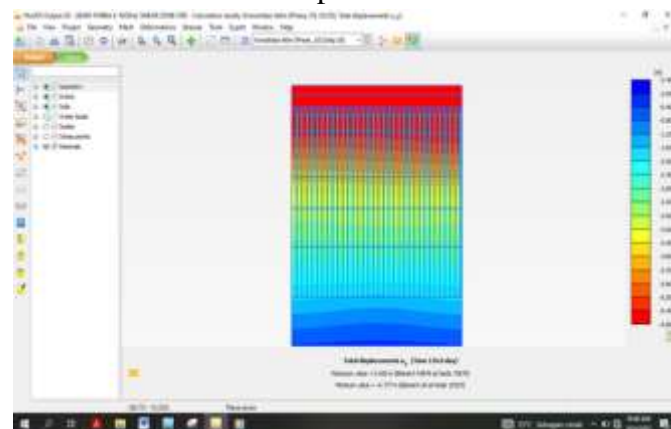


Gambar 3. Pendeklarasian tanah eksisting pada PLAXIS 6 nodal



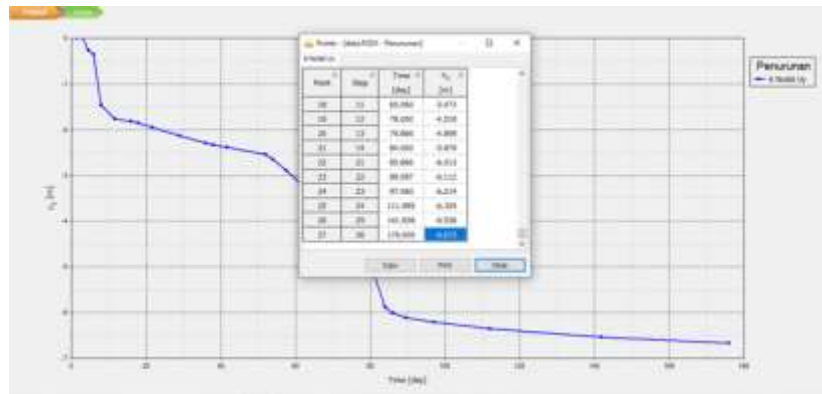
Gambar 4. Hasil Penggambaran struktur tanah pada PLAXIS 2D dengan 6 nodal

Setelah input material selesai dilanjutkan dengan menentukan pembagian elemen (generate mesh). Setelah mesh terbentuk maka harus dilakukan pemodelan tahapan konstruksi (stage construction). Proses ini menginterpretasikan tahapan konstruksi yang sebenarnya. Tahap selanjutnya dilakukan proses kalkulasi sehingga didapatkan hasil berupa deformasi yang terjadi. Adapun output dari proses analisis disajikan pada Gambar 5 dan 6. Hasil output perhitungannya menunjukkan bahwa penurunan vertikal yang terjadi berada dibawah timbunan preloading sebesar 6,777 meter, sedangkan pada titik pemasangan settlement plate terjadi penurunan sebesar -6.673 meter. Terdapat kenaikan elevasi tanah pada alur pelayaran namun tidak signifikan sehingga struktur tidak mengalami keruntuhan atau collaps.



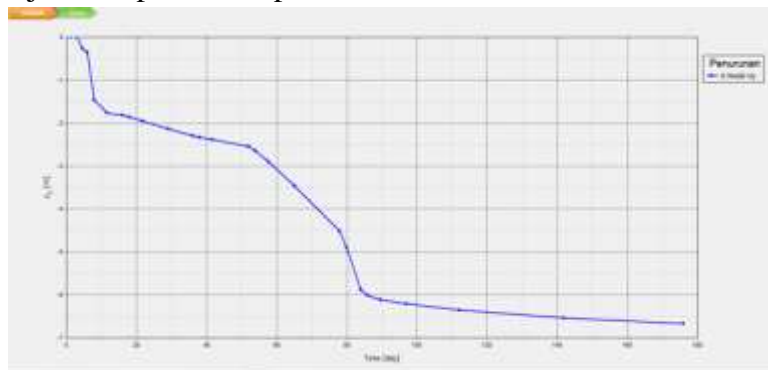
Gambar 5. Penyebaran Vertical displacement pada PLAXIS 6 nodal

Penurunan yang terjadi pada titik tinjauan node A dimana lokasi settlement plate S-22 dipasang, dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini:



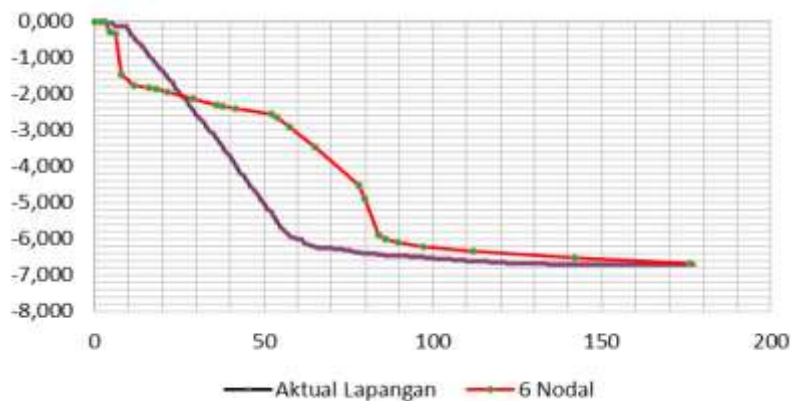
Gambar 6. Penurunan yang terjadi pada titik tinjauan node A

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal dengan waktu konsolidasi pada titik tinjauan dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Grafik hubungan antara vertical displacement dengan waktu

Pola penurunan yang diperoleh dari PLAXIS 2D dengan menggunakan 6 titik nodal memiliki perbedaan dibandingkan dengan aktual di lapangan. Dimana pola penurunan pada PLAXIS 2D menunjukkan bahwa penurunan bergantung pada jumlah pembebanan yang dilakukan sedangkan pada aktualnya setiap hari penurunan terjadi dengan teratur. Perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini:

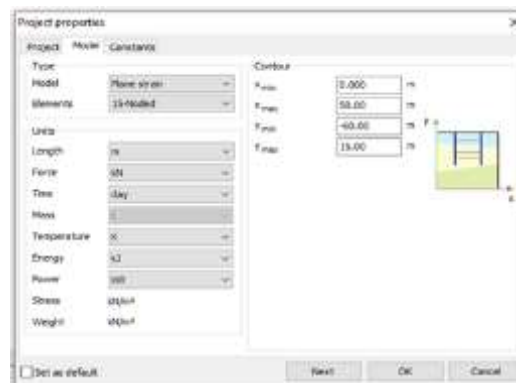


Gambar 8. Perbedaan pola penurunan pada PLAXIS 2D 6 titik nodal dengan aktual lapangan

2. Pemodelan Plaxis 2D QuaRtic triangle element (15 titik nodal)

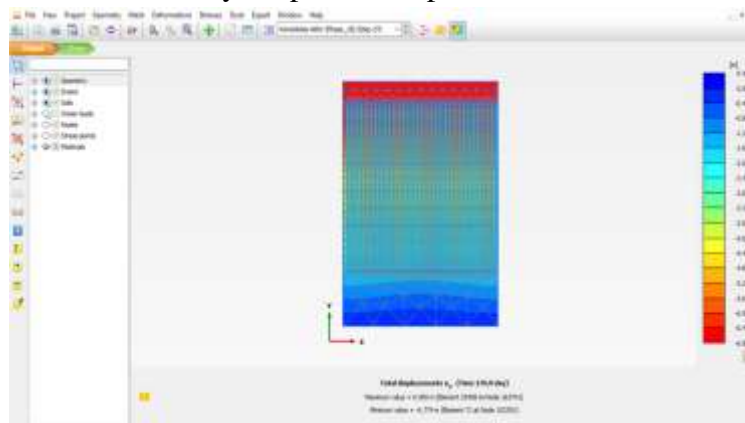
Untuk metode analisa dengan menggunakan 15 titik nodal, terdapat kesamaan proses tahapan pekerjaan dengan menggunakan 6 titik nodal. Yang membedakan adalah pada tahapan project properties, generating mesh dan hasil akhir dari perhitungan. Selain dari tahapan diatas proses pekerjaannya relatif sama antara yang 15 titik nodal dengan 6 titik nodal (Tan et al., 2014).

Pada tahap pengaturan properties project yang dilakukan perubahan adalah pemilihan tipe model yang digunakan. Tipe model yang dipilih adalah plane strain, elemen yang memiliki titik nodal 15. Pengaturan project properties dapat dilihat pada Gambar 9.



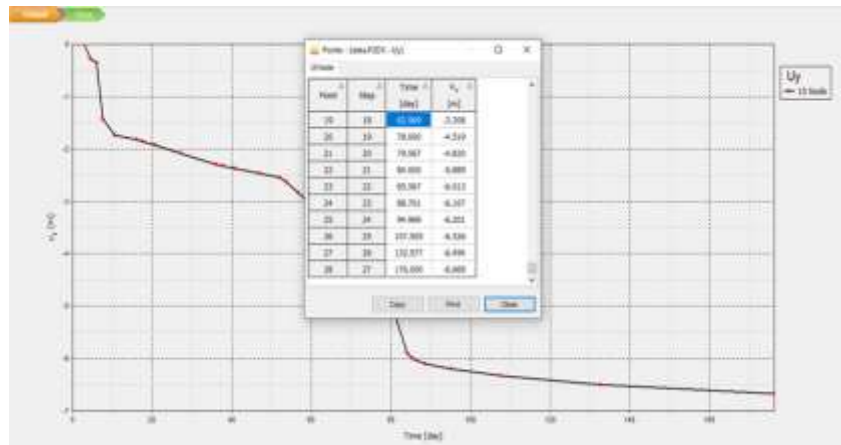
Gambar 9. Pengaturan project properties pada PLAXIS 2D dengan 15 titik nodal

Hasil output analisis PLAXIS 2D dengan 15 Nodal perhitungannya menunjukkan bahwa penurunan vertikal yang terjadi berada dibawah timbunan preloading sebesar -6,774 meter, sedangkan pada titik pemasangan settlement plate terjadi penurunan sebesar -6.669 meter. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini:



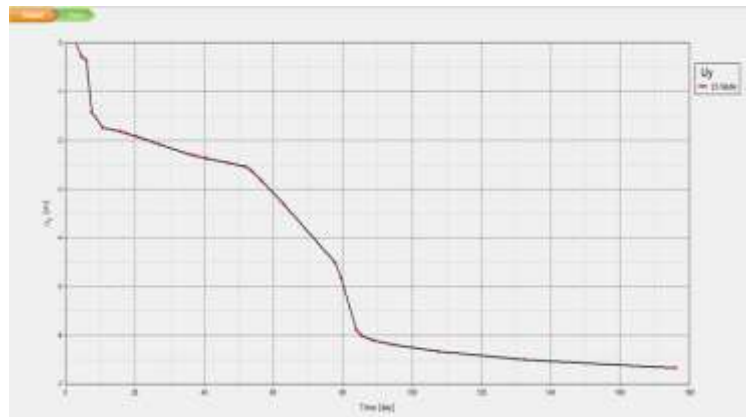
Gambar 10. Penyebaran Vertical displacement pada PLAXIS 15 nodal

Penurunan yang terjadi pada titik tinjauan dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini:



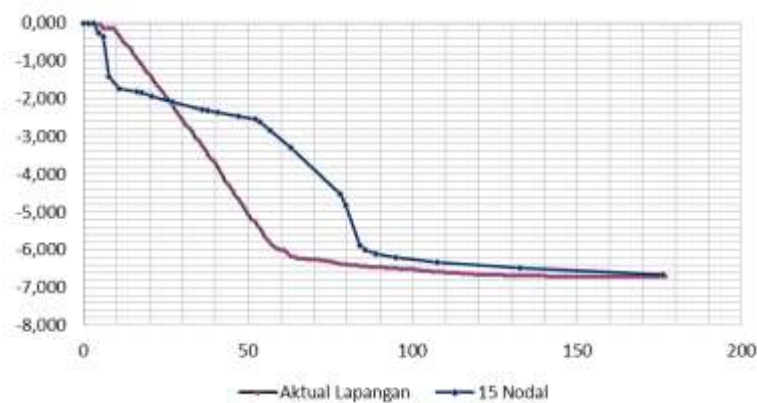
Gambar 11. Penurunan yang terjadi pada titik node A (S-22) untuk permodelan 15 nodal

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal dengan waktu konsolidasi pada titik tinjauan dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



Gambar 12. Grafik hubungan vertical displacement pad model 15 nodal

Pola penurunan yang diperoleh dari PLAXIS 2D dengan menggunakan 15 titik nodal juga memiliki perbedaan dalam hal pola penurunan dibandingkan dengan aktual di lapangan. Perbedaan penurunannya dapat dilihat pada Gambar 13 berikut ini:



Gambar 13. Perbedaan pola penurunan pada PLAXIS 2D 15 titik nodal dengan aktual lapangan

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa besaran penurunan tanah sebesar -6,801 meter. Hasil ini relatif mendekati hasil observasi penurunan aktual lapangan, di mana penurunannya sebesar 6,718 meter. Terdapat perbedaan sebesar 0,083 meter antara perhitungan analitis lebih besar dengan hasil observasi lapangan. Perbedaan penurunan antara analitis dengan hasil observasi lapangan adalah dikarenakan perhitungan analitis menggunakan Terzaghi, konsolidasi primer sudah mencapai 100% dan konsolidasi sekunder belum diperhitungkan, sedangkan pada hasil observasi lapangan sebelum masa konsolidasi primer belum mencapai 100%.

Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D besar penurunan konsolidasi yang terjadi adalah -6,673 m dari pemodelan 6 titik nodal dan -6,669 dari pemodelan 15 titik nodal. Sehingga dapat dilihat perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan PLAXIS 2D relatif mendekati penurunan hasil aktual di lapangan dengan persentase perbedaan penurunan 0,66% dibandingkan dengan perhitungan dengan metode analitis yang perbedaannya 1,23%.

Perhitungan menggunakan PLAXIS 2D dengan 6 titik nodal memiliki hasil lebih akurat dibandingkan dengan 15 titik nodal, namun tidak begitu signifikan di mana perbedaannya hanya 41 mm. Dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghitung dengan 6 titik nodal adalah sekitar 1 jam dan 15 titik nodal adalah sekitar 4 jam, maka perhitungan menggunakan 6 titik nodal lebih dianjurkan untuk digunakan dalam analisa. Pengaruh penambahan titik nodal pada proses analisis adalah waktu yang dibutuhkan dalam proses kalkulasi menjadi lebih lama dikarenakan jumlah titik yang dianalisa semakin banyak saat menggunakan 15 titik nodal.

BIBLIOGRAFI

- Apriyani, N. I. K. D., Ikhyia, I., & Hamdhan, I. N. (2016). Analisis Konsolidasi Dengan Prefabricated Vertical Drain Untuk Beberapa Soil Model Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Reka Racana*, 2(3). [Google Scholar](#)
- Chai, J.-C., Shen, S.-L., Miura, N., & Bergado, D. T. (2001). Simple method of modeling PVD-improved subsoil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(11), 965–972. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:11\(965\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:11(965)). [Google Scholar](#)
- Chairullah, B. (2011). Stabilisasi tanah lempung lunak untuk material tanah dasar sub grade dan sub base jalan raya. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 61–70. [Google Scholar](#)
- Gunasro, A., Nuprayogi, R., Partono, W., & Pardoyo, B. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Campuran Larutan NaOH 7, 5%. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2), 238–245. [Google Scholar](#)
- Hird, C. C., Pyrah, I. C., Russell, D., & Cinicioglu, F. (1995). Modelling the effect of vertical drains in two-dimensional finite element analyses of embankments on soft ground. *Canadian Geotechnical Journal*, 32(5), 795–807. <https://doi.org/10.1139/t95-077>. [Google Scholar](#)
- Indraratna, B., & Redana, I. W. (1997). Plane-strain modeling of smear effects associated with vertical drains. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 474–478. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1997\)123:5\(474\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1997)123:5(474)). [Google Scholar](#)
- Kjellman, W. (1949). Record of the activities at the Swedish Geotechnical Insitute 1944-1948. Stockholm, Swedish Geotechnical Institute. [Google Scholar](#)
- Meiwa, S., Ikhyia, I., & Hamdhan, I. N. (2017). Analisis Konsolidasi dengan PVD untuk Kondisi Axisymmetric dan Beberapa Metode Ekuivalensi Plane Strain Menggunakan Metode Elemen Hingga. In *Reka Racana* (pp. 1–12). [Google Scholar](#)
- NINGSIH, A. C. (2018). Perencanaan perbaikan tanah lunak menggunakan metode preloading dan prefabricated vertical drain (PVD). [Google Scholar](#)
- Ohoimas, M. Y., & Hamdhan, I. N. (2015). Analisis Konsolidasi dengan Menggunakan Metode Preloading dan Vertical Drain pada Areal Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/0.26760/rekaracana.v1i1.1>. [Google Scholar](#)
- Roesyanto, R., & Iskandar, R. (n.d.). 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. [Google Scholar](#)
- Romanel, C. (2019). Evaluation of the Load Bearing Capacity of Piles by Numerical, Analytical and Empirical Approaches. *New Developments in Soil Characterization and Soil Stability*, 58. [Google Scholar](#)

- Tan, S. A., Ng, K. S., & Sun, J. (2014). Column groups analyses for stone column reinforced foundation. *Geotechnical Special Publication*, 233, 597–608. [Google Scholar](#)
- Wulandari, T. E. (2020). Analisis Konsolidasi menggunakan Preloading dan Prefabricated Vertical Drain dengan Metode Perhitungan Analitis, Plaxis 2D dan 3D pada Proyek Reklamasi Belawan Phase I. Universitas Sumatera Utara. [Google Scholar](#)
- Zardari, M. A., Ormann, L., Mattsson, H., & Knutsson, S. (2014). Numerical analysis of staged construction of an upstream tailings dam. *National Conference on Civil Engineering: 28/04/2014-29/04/2014*, 150–160. [Google Scholar](#)

Copyright holder :

Baby Purba, Roesyanto, Gina Cyntia Raphita (2022)

First publication right :

Jurnal Syntax Admiration

This article is licensed under:

