

PENGARUH PENGGUNAAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* DAN *PRELOADING* PADA PEKERJAAN PENIMBUNAN TANAH PROYEK JALAN TOL BINJAI-PANGKALAN BRANDAN

Wira Praseytia¹, Nazira Putri Tarigan², Muhammad Mabror³

D3 Teknik Sipil^{1,2,3}, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

wirapraseytia@students.polmed.ac.id¹, naziraputritarigan@students.polmed.ac.id²,

muhammadmabror@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Pekerjaan Pembangunan Jalan Tol Binjai-Pangkalan Brandan Zona IV dibangun di atas lapisan tanah lempung lunak, maka potensi pemampatan (konsolidasi) yang akan terjadi pada lapisan tanah relatif besar dan memakan waktu yang cukup lama. Kondisi ini dapat memberikan resiko kegagalan bagi konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Salah satu metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan untuk menanggulangi permasalahan tersebut adalah melakukan timbunan (*preloading*) yang juga dapat dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Pada penelitian dilakukan analisa terhadap pengaruh *preloading* dan penggunaan PVD dalam upaya perbaikan tanah di lokasi pekerjaan. Perhitungan besar dan waktu penurunan dilakukan menggunakan metode yang dikemukakan Terzaghi. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% menggunakan metode *preloading* tanpa PVD adalah 301 hari. Sedangkan, lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% menggunakan kombinasi *Preloading* - PVD adalah 26 hari. Maka disimpulkan penggunaan kombinasi *Preloading*-PVD, dapat menghemat waktu penurunan sebesar 91,37%.

Kata Kunci : Konsolidasi, *Preloading*, *Prefabricated Vertical Drain*

PENDAHULUAN

Dalam setiap Pembangunan, tanah tempat mendirikan suatu proyek harus stabil. Tanah yang stabil itu yaitu, daya dukungnya bagus, bisa memikul beban dan juga aman untuk dalam jangka waktu panjang. Pada pekerjaan Pembangunan Proyek Jalan Tol Binjai-Pangkalan Brandan, ditemukan jenis tanah lempung dengan daya dukung yang rendah, sehingga tidak dapat memikul beban di atasnya. Kondisi tanah tersebut dapat mengakibatkan kegagalan konstruksi atau kerusakan pada jalan tol.

Tanah lempung mengandung kadar air yang tinggi, sehingga ketika diberikan beban, seiring berjalannya waktu tanah tersebut akan mengalami penurunan.. Apabila terjadi penurunan secara tidak seragam, maka akan terjadi keretakan, oleh karena itu untuk mencegah hal tersebut, air yang berada di dalam tanah harus dipaksa keluar dengan cara ditimbun.

Pada kasus ini, untuk mengeluarkan air dari dalam tanah akan memakan waktu yang cukup lama. Maka dari itu diperlukan penanganan untuk membantu proses keluarnya air tersebut. Alternatif yang bisa digunakan yaitu, pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Preloading*. Berdasarkan uraian di atas, perlu rasanya melakukan kajian mengenai perbaikan tanah pada lokasi Pembangunan Jalan Tol Binjai-Pangkalan Brandan dengan menggunakan metode *Preloading*-PVD. Menimbang dimana lokasi pembangunan tersebut merupakan tanah lempung dan metode ini sedang diterapkan pada lokasi proyek tersebut. Penulis tertarik untuk mengangkat sebuah penelitian dengan judul “PENGARUH PENGGUNAAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* DAN *PRELOADING* PADA PEKERJAAN PENIMBUNAN TANAH PROYEK JALAN TOL BINJAI-PANGKALAN BRANDAN.” Tujuan penelitian ini ialah untuk membandingkan waktu pemampatan konsolidasi menggunakan metode *Preloading* tanpa PVD dan dengan metode *Preloading* dengan PVD.

Rumusan masalah yang dapat ditentukan berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan antara lain sebagai berikut:

1. Berapa lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan metode *preloading* tanpa *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)?
2. Berapa lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan penggunaan *Preloading Prefabricated Vertical Drain* (PVD)?
3. Berapa persen percepatan konsolidasi apabila menggunakan *Preloading-Prefabricated Vertical Drain*?

Peneliti mencantumkan salah-satu hasil penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang hendak dilakukan, kemudian membuat ringkasannya, Dengan melakukan Langkah tersebut, maka akan dapat dilihat sampai sejauh mana keaslian dan posisi penelitian yang hendak dilakukan. Diantara penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini adalah: Oky Wisnu Wardhana (2021), Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, dengan judul “ANALISIS WAKTU PENURUNAN KONSOLIDASI TANAH DENGAN METODE *PRELOADING-PREFABRICATED VERTICAL DRAINS* PADA PROYEK PEMBANGUNAN KOMPLEK PENDIDIKAN ISLAM AL AZHAR”. Berdasarkan hasil yang telah didapat oleh peneliti mengenai analisis waktu konsolidasi tanah dengan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Lama waktu konsolidasi tanpa percepatan pada Proyek Pembangunan Komplek Pendidikan Islam Al Azhar 57 Jambi untuk mencapai konsolidasi 90% yaitu 115,1 tahun.
2. Lama waktu konsolidasi dengan penggunaan *preloading-Prefabricated Vertical Drain* (PVD) pada Proyek Pembangunan Komplek Pendidikan Islam Al Azhar 57 Jambi untuk mencapai konsolidasi 90% yaitu 38 hari dengan pola pemasangan persegi.
3. Perbandingan lama waktu konsolidasi konsolidasi tanpa percepatan, dengan penggunaan *Preloading-Prefabricated Vertical Drain* pada Proyek Pembangunan Komplek Pendidikan Islam Al Azhar 57 Jambi mengalami peningkatan sebesar 99,91 %.

Persamaannya adalah sama-sama meneliti mengenai pengaruh penggunaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) terhadap percepatan waktu konsolidasi tanah. Sedangkan perbedaannya adalah penelitian yang dilakukan oleh Oky Wisnu Wardhana yaitu beliau menganalisa perbedaan antara penggunaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) pola persegi, pola segitiga dan Tanpa PVD, sedangkan penelitian yang sekarang akan dilakukan hanya menganalisa Penggunaan PVD dengan pola Persegi dan tanpa PVD saja.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995). Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Semua proyek konstruksi sipil pasti didirikan di atas tanah, seperti gedung-gedung bertingkat, jalan raya, jembatan, bandar udara, dermaga, pelabuhan, kanal dan lain sebagainya dibangun di atas tanah. Oleh karena itu tanah mengambil peranan yang sangat penting dalam proyek konstruksi. Tanah lempung adalah partikel tanah yang tersusun dari mineral berbentuk serpih berukuran mikroskopis dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas Tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi, dan mempunyai gaya geser yang kecil. Bila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori di dalam lapisan tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, diikuti penurunan tanahnya. Karena permeabilitas yang rendah ini membutuhkan waktu. Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Dengan kata lain, pengertian konsolidasi adalah proses terperasnya air tanah akibat bekerjanya beban, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah. Proses konsolidasi dapat diamati dengan

pemasangan piezometer, untuk mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya. Penentuan waktu penempatan tanah adalah sebagai berikut :

a. Lamanya Waktu Konsolidasi Tanah

Menurut Terzaghi dalam Das (1985) menjelaskan bahwa lama waktu konsolidasi (t) adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{T_v(H_{dr})^2}{C_v} \quad (1)$$

b. Parameter Tanah untuk Menghitung Waktu Konsolidasi

1. Faktor waktu (Tv) merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi (U%) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori (c) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah). Apabila distribusi tegangan air porinya merata (homogen) maka hubungan Tv dan U dapat dilihat pada Tabel 1. berikut:

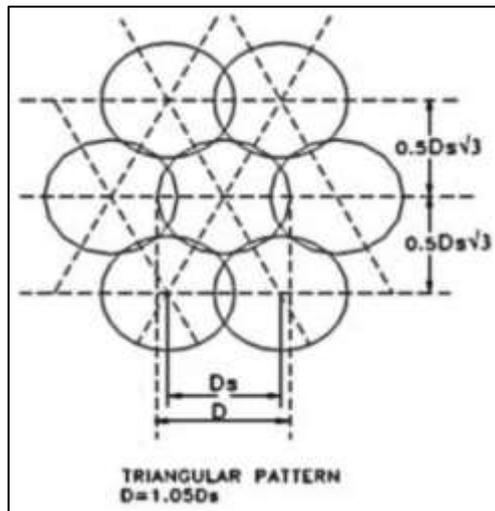
Tabel 1. Korelasi antara Tv dan U

U(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Tv	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	∞

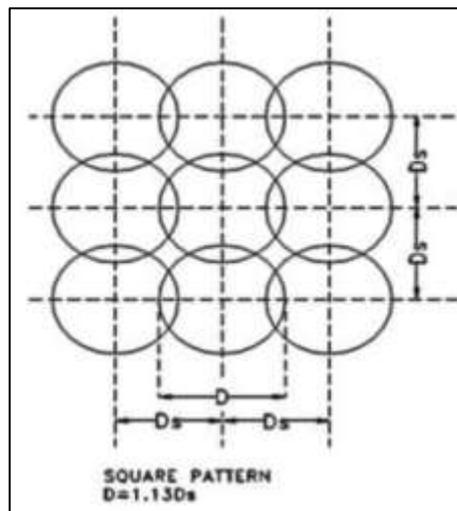
Koefisien konsolidasi vertikal (Cv) dilihat dari grafik korelasi yaitu antara besarnya pemampatan tanah dengan waktu (t). persamaan yang dipakai untuk memperhitungkan nilai Cv ialah sebagai berikut :

$$Cv_{gab} = \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left[\frac{H_1}{\sqrt{Cv1}} + \frac{H_2}{\sqrt{Cv2}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{Cvn}} \right]^2} \quad (2)$$

Secara teknis pada pekerjaan konstruksi, tanah lempung memiliki sifat yang kurang menguntungkan karena memiliki pemampatan yang besar dalam waktu yang lama. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan tanah dengan metode preloading agar terjadi pemampatan yang besar dengan waktu yang cepat. Preloading dilakukan dengan memberi beban berupa tanah timbunan untuk mengeluarkan air maupun udara dari dalam tanah. *Prefabricate Vertical Drain* merupakan sistem drainase buatan yang dipasang ke dalam lapisan tanah lunak yang terbuat dari bahan sintesis yang dibagi atas dua komponen, yaitu geotextile filter fabric atau serat penyaring geotekstil yang akan mempermudah aliran air masuk ke dalam rongga-rongga tanah dan juga *plastic drain core* atau plastik inti drainase yang berlaku sebagai pengumpul penyalur. Percepatan proses konsolidasi tanah dibutuhkan apabila ternyata pemampatan yang direncanakan membutuhkan waktu yang sangat lama. Salah satu metode perbaikan tanah untuk mempercepat waktu konsolidasi tersebut adalah dengan pemasangan vertical drain. Hingga saat ini pemasangan PVD terdapat 2 pola, yaitu pola segitiga dan pola segiempat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.a dan 2.b. Pola segitiga mengacu pada bentuk pola pemasangan titik-titik PVD yang dipasang sehingga membentuk pola segitiga, sedangkan pola segiempat mengacu pada bentuk pola pemasangan titik-titik PVD yang dipasang sehingga membentuk pola berupa segiempat.



Gambar 1. Pola Susunan PVD Segitiga
Sumber : Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya



Gambar 2. Pola Susunan PVD Bujur sangkar
Sumber : Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya

Percepatan proses konsolidasi tanah dibutuhkan apabila ternyata pemampatan yang direncanakan membutuhkan waktu yang sangat lama. Salah satu metode perbaikan tanah untuk mempercepat waktu proses konsolidasi tersebut adalah dengan melakukan pemasangan *Prefabricated vertical drain* yang dikombinasikan dengan pembebanan *Preloading*. Pemberian beban *preloading* pada tanah yang akan dikonsolidasi menyebabkan butiran tanah terkompresi dan air pori berlebih mencari jalan untuk keluar. Air pori berlebih tersebut akan mencari jalan terpendek untuk keluar yaitu dengan melalui *prefabricated vertical drain* tersebut.

METODE PENELITIAN

Adapun tahapan metode pelaksanaan yang dilakukan oleh peneliti untuk menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan untuk mendapatkan data teknis tanah yang akan dilakukan analisis perbaikan tanahnya. Data teknis yang didapat berupa data tanah di lapangan berupa SPT dan data tanah di laboratorium. Selanjutnya menentukan jumlah lapisan dan penomoran pada tanah timbunan yang akan dilakukan pada daerah tersebut. Hal ini dilakukan untuk menentukan tinggi timbunan rencana pada pelaksanaan yang akan dilakukan pada daerah tersebut.

2. Penentuan Tekanan Efektif, P_o

Penentuan tekanan *overburden* pada lapisan tanah adalah sebagai berikut :

$$P_o = \gamma_{\text{timbunan}} \times H \quad (3)$$

3. Penentuan Δ_p

Penentuan Δ_p adalah sebagai berikut :

$$\Delta_p = \gamma_{\text{timbunan}} \times H \quad (4)$$

4. Penentuan *settlement* akibat pembebanan

Penentuan *settlement* akibat pembebanan adalah sebagai berikut :

$$S_c = \sum \left[\frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \right] \quad (5)$$

5. Waktu konsolidasi akibat preloading

Penentuan waktu konsolidasi akibat *preloading* adalah sebagai berikut :

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

6. Penentuan Derajat Konsolidasi (U)

Derajat konsolidasi (U) menunjukkan lamanya waktu konsolidasi dalam bentuk persentase. Pada umumnya nilai derajat konsolidasi yang digunakan dalam perencanaan sebesar 90%. Nilai tersebut diambil karena nilai derajat konsolidasi tidak mungkin mencapai nilai 100% dalam waktu singkat. Berdasarkan nilai T_v yang didapat dapat mencari nilai U. Adapun penentuan derajat konsolidasi menggunakan persamaan berikut:

Untuk $U < 60\%$:

$$T_v = \left(\frac{\pi}{4} \right) U^2 \quad (7)$$

Untuk $U > 60\%$:

$$T_v = -0,933 \log(1 - U) - 0,085 \quad (8)$$

Atau ,

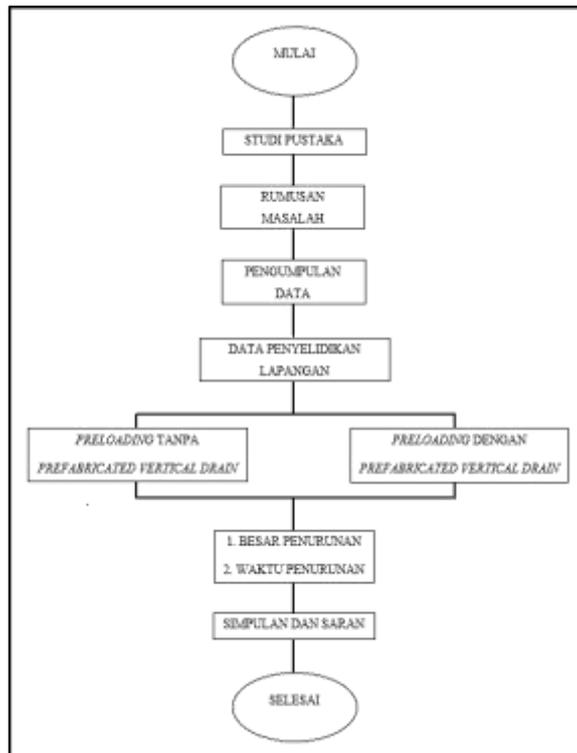
$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%) \quad (9)$$

7. Mencari nilai Penurunan pada waktu tertentu (S_t)

Setelah nilai T_v dan U telah didapatkan, maka penurunan pada waktu tertentu dapat di cari. Adapun cara mencarinya yaitu:

$$S_t = S_c \times U \quad (10)$$

Untuk lebih jelas mengenai metode pelaksanaan penelitian ini disajikan bagan alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir penelitian
Sumber : Dokumen Pribadi

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Besar Penurunan, Waktu Konsolidasi dan Derajat Konsolidasi Tanah dengan *Preloading* Tanpa PVD

1. Lapisan Lempung Berpasir (0-4 m)

- Penentuan Tekanan Efektif P_o

Penentuan nilai tegangan efektif adalah mencari besar tegangan yang bekerja pada daerah tengah lapisan tanah yang ditinjau. Penentuan tegangan efektif tanah berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$P_o = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

$$P_o = 1,63 \times 2$$

$$P_o = 3,26 \text{ T/m}^2$$

- Penentuan Δp

Penentuan Δp berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta p = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

Dalam kasus ini tinggi pembebanan *preloading* yang digunakan yakni setinggi 3 meter dan dilakukan secara per lapisan. Dengan setiap lapisannya setinggi 1 m, maka berikut penyelesaiannya :

Lapisan *Preloading* 1.

$$\Delta p = 1 \times 1,5 = 1,5 \text{ T/m}^2$$

Lapisan *Preloading* 2.

$$\Delta p = 2 \times 1,5 = 3 \text{ T/m}^2$$

Lapisan *Preloading* 3.

$$\Delta p = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ T/m}^2$$

- Perhitungan Lapisan *Preloading* Pertama

Penentuan penurunan atau *settlement* akibat *preloading* berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$S_c = \left[\frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \right]$$

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

$$S_c = \left[\frac{0,357}{1+1,15} 4 \log \left(\frac{3,26+1,5}{3,26} \right) \right]$$

$$S_c = 0,1092 \text{ m} = 10,92 \text{ cm}$$

Penentuan nilai faktor waktu, T_v :

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_{dr}^2}$$

$$H_{dr} = \frac{H}{2}$$

Hari ke 7, $t_{7 \text{ hari}} = 604800 \text{ detik}$

$$H_{dr} = \frac{4 \text{ m}}{2} = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$$

$$T_v = \frac{604800 \times 0,0226}{(200)^2}$$

$$T_v = 0,342$$

Menentukan derajat konsolidasi arah vertikal, U untuk faktor waktu yang telah ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

Untuk $U < 60\%$:

$$T_v = \left(\frac{\pi}{4} \right) U^2$$

Untuk $U > 60\%$:

$$T_v = -0,933 \log(1 - U) - 0,085$$

Atau ,

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

$$0,3417 = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

$$U = 65,13\%$$

Menghitung S_t , yakni :

$$S_t = S_c \times U$$

$$S_{t \text{ hari ke } 7} = 10,92 \times 65,13\% = 7,112 \text{ cm}$$

Perhitungan dilanjutkan hingga lapisan *Preloading* ke 3, namun apabila derajat konsolidasi pada saat *Preloading* Lapisan ketiga (hari ke 21) masi belum mencapai 90% maka perhitungan masikh harus dilanjutkan.

2. Lapisan Lempung dan Organik (5,7-21 m)

- Penentuan Tekanan Efektif P_o

Penentuan tegangan efektif tanah:

$$P_o = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

$$P_o = 1,63 \times 5,7 + 1,45 \times 7,65$$

$$P_o = 20,3835 \text{ T/m}^2$$

- Penentuan Δ_p

Penentuan Δ_p berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_p = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

Dalam kasus ini tinggi pembebanan *preloading* yang digunakan yakni setinggi 3 meter dan dilakukan secara per lapisan. Dengan setiap lapisannya setinggi 1 m, maka berikut penyelesaiannya :

Lapisan *Preloading* 1.

$$\Delta_p = 1 \times 1,5 = 1,5 \text{ T/m}^2$$

Lapisan *Preloading* 2.

$$\Delta_p = 2 \times 1,5 = 3 \text{ T/m}^2$$

Lapisan *Preloading* 3.

$$\Delta_p = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ T/m}^2$$

- Perhitungan Lapisan *Preloading* Pertama

Penentuan penurunan atau *settlement* akibat *preloading* :

$$S_c = \left[\frac{C_c}{1+e_0} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \right]$$

$$H = 15,3 \text{ m}$$

$$S_c = \left[\frac{0,495}{1+1,87} 15,3 \log \left(\frac{20,384+1,5}{20,384} \right) \right]$$

$$S_c = 0,0814 \text{ m} = 8,14 \text{ cm}$$

Penentuan nilai faktor waktu, T_v :

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_{dr}^2}$$

$$H_{dr} = \frac{H}{2}$$

$$\text{Hari ke } 7, t_{7 \text{ hari}} = 604800 \text{ detik}$$

$$H_{dr} = \frac{15,3 \text{ m}}{2} = 7,65 \text{ m} = 765 \text{ cm}$$

$$T_v = \frac{604800 \times 0,0216}{(765)^2}$$

$$T_v = 0,02232$$

Menentukan derajat konsolidasi arah vertikal, U :

Untuk $U < 60\%$:

$$T_v = \left(\frac{\pi}{4} \right) U^2$$

$$0,02232 = \left(\frac{3,14}{4} \right) U^2$$

$$U = 16,86\%$$

Menghitung S_t :

$$S_t = S_c \times U$$

$$S_{t \text{ hari ke } 7} = 8,14 \times 16,86\% = 1,373 \text{ cm}$$

Perhitungan dilanjutkan hingga lapisan *Preloading* ke 3, namun apabila derajat konsolidasi pada saat *Preloading* Lapisan ketiga (hari ke 21) masi belum mencapai 90% maka perhitungan masikh harus dilanjutkan.

Berdasarkan hasil perhitungan lama waktu konsolidasi dan besarnya penurunan tanah untuk mencapai konsolidasi 90% tanpa PVD pada STA 41 + 850 lama waktu konsolidasi sebesar 301 hari dengan penurunan 67,745 cm.

b. Analisis Besar Penurunan, Waktu Konsolidasi dan Derajat Konsolidasi Tanah dengan Kombinasi *Preloading* dan PVD

1. Lapisan Lempung Berpasir (0-4 m)

- Penentuan Tekanan Efektif P_o

Penentuan nilai tegangan efektif adalah mencari besar tegangan yang bekerja pada daerah tengah lapisan tanah yang ditinjau. Penentuan tegangan efektif tanah berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$P_o = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

$$P_o = 1,63 \times 2$$

$$P_o = 3,26 \text{ T/m}^2$$

- Penentuan Δ_p

Penentuan Δ_p berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_p = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

Dalam kasus ini tinggi pembebanan *preloading* yang digunakan yakni setinggi 3 meter dan dilakukan secara per lapisan. Dengan setiap lapisan nya setinggi 1 m, maka berikut penyelesaiannya :

Lapisan Preloading 1.

$$\Delta_p = 1 \times 1,5 = 1,5 \text{ T/m}^2$$

Lapisan Preloading 2.

$$\Delta_p = 2 \times 1,5 = 3 \text{ T/m}^2$$

Lapisan Preloading 3.

$$\Delta_p = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ T/m}^2$$

- Perhitungan Lapisan *Preloading* Pertama

Penentuan penurunan atau *settlement* akibat *preloading* :

$$S_c = \left[\frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \right]$$

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

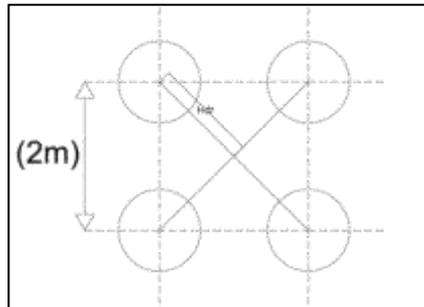
$$S_c = \left[\frac{0,357}{1+1,15} 4 \log \left(\frac{3,26+1,5}{3,26} \right) \right]$$

$$S_c = 0,1092 \text{ m} = 10,92 \text{ cm}$$

Penentuan nilai faktor waktu, T_v :

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_{dr}^2}$$

Pola pemasangan PVD yang di gunakan yaitu pola segi empat dengan jarak antar PVD yaitu 2 m, seperti pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. Pola Pemasangan PVD dan Jarak Antar PVD
Sumber : Dokumen Pribadi

$$H_{dr} = \sqrt{1 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2} = \sqrt{2} \text{ m} = 1,4142136 \text{ m} = 141,42136 \text{ cm}$$

Hari ke 7, $t_{7 \text{ hari}} = 604800$ detik

$$T_v = \frac{604800 \times 0,0226}{(141,42136)^2}$$

$$T_v = 0,6834$$

Menentukan derajat konsolidasi arah vertikal, U :

Untuk $U > 60\%$:

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

$$0,6834 = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

$$U = 84,9\%$$

Menghitung S_t :

$$S_t = S_c \times U$$

$$S_{t \text{ hari ke } 7} = 10,92 \times 84,9\% = 9,28 \text{ cm}$$

Perhitungan dilanjutkan hingga lapisan *Preloading* ke 3, namun apabila derajat konsolidasi pada saat *Preloading* Lapisan ketiga (hari ke 21) masi belum mencapai 90% maka perhitungan masikh harus dilanjutkan

2. Lapisan Lempung dan Organik (5,7-21 m)

- Penentuan Tekanan Efektif P_o

Penentuan tegangan efektif tanah:

$$P_o = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

$$P_o = 1,63 \times 5,7 + 1,45 \times 7,65$$

$$P_o = 20,3835 \text{ T/m}^2$$

- Penentuan Δ_p

Penentuan Δ_p berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_p = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

Dalam kasus ini tinggi pembebanan *preloading* yang digunakan yakni setinggi 3 meter dan dilakukan secara per lapisan. Dengan setiap lapisan nya setinggi 1 m, maka berikut penyelesaiannya :

Lapisan Preloading 1.

$$\Delta_p = 1 \times 1,5 = 1,5 \text{ T/m}^2$$

Lapisan Preloading 2.

$$\Delta_p = 2 \times 1,5 = 3 \text{ T/m}^2$$

Lapisan Preloading 3.

$$\Delta_p = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ T/m}^2$$

- Perhitungan Lapisan *Preloading* Pertama

Penentuan penurunan atau *settlement* akibat *preloading* :

$$S_c = \left[\frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \right]$$

$$H = 15,3 \text{ m}$$

$$S_c = \left[\frac{0,495}{1+1,87} 15,3 \log \left(\frac{20,384+1,5}{20,384} \right) \right]$$

$$S_c = 0,0814 \text{ m} = 8,14 \text{ cm}$$

Penentuan nilai faktor waktu, T_v :

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_{dr}^2}$$

Berdasarkan gambar 4. maka :

$$H_{dr} = \sqrt{1 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2} = \sqrt{2} \text{ m} = 1,4142136 \text{ m} = 141,42136 \text{ cm}$$

Hari ke 7, $t_{7 \text{ hari}} = 604800$ detik

$$T_v = \frac{604800 \times 0,0216}{(141,42136)^2}$$

$$T_v = 0,6531$$

Menentukan derajat konsolidasi arah vertikal, U :

Untuk $U > 60\%$:

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

$$0,6531 = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

$$U = 83,83\%$$

Menghitung S_t :

$$S_t = S_c \times U$$

$$S_{t \text{ hari ke } 7} = 8,137 \times 83,83\% = 6,82 \text{ cm}$$

Perhitungan dilanjutkan hingga lapisan *Preloading* ke 3, namun apabila derajat konsolidasi pada saat *Preloading* Lapisan ketiga (hari ke 21) masi belum mencapai 90% maka perhitungan masih harus dilanjutkan.

3. Berdasarkan hasil perhitungan lama waktu konsolidasi dan besarnya penuruanan tanah untuk mencapai konsolidasi 90% tanpa PVD pada STA 41 + 850 lama waktu konsolidasi sebesar 26 hari dengan penurunan 85,991 cm.

c. Analisis Konsolidasi Tanah Tanpa PVD dan dengan PVD

Hasil perhitungan lama waktu konsolidasi dan besar penurunan tanah tanpa percepatan dan hasil perhitungan lama waktu konsolidasi dn besar penurunan tanah dengan percepatan (PVD) menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan tersebut lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan waktu konsolidasi tanah

Metode	Lama Waktu	Besar penurunan
Tanpa PVD	301 hari	67,745 cm
Dengan PVD	26 hari	85,991 cm

Berdasarkan tabel 4. dapat diketahui bahwa dengan penggunaan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi. Lama waktu konsolidasi untuk mencapai konsolidasi 90% sebelum digunakan PVD adalah 301 hari dan setelah digunakan PVD sebesar 26 hari.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya mengenai pengaruh penerapan metode *prefabricated vertical drain* (PVD) dan *preloading* terhadap waktu penurunan konsolidasi tanah pada Proyek Jalan Tol Binjai-Pangkalan Brandan. Maka dapat diambil beberapa kesimpulan sesuai rumusan masalah penelitian ini yaitu, Lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% menggunakan metode *preloading* tanpa *Prefabricated Vertical Drain* adalah 301 hari, Lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% menggunakan metode *Preloading-Prefabricated Vertical Drain* adalah 26 hari dan Dengan menggunakan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)-*Preloading*, maka lama waktu konsolidasi dapat dihemat sebesar 91,37%. Adapun saran yang dapat diberikan kepada penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penggunaan metode *preloading-prefabricated vertical drain* (PVD) yaitu, Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mencoba metode pembebanan dengan variasi yang berbeda seperti ketebalan timbunan per layer yang lebih besar ataupun lebih kecil dari penelitian yang sekarang. untuk mengetahui pengaruhnya terhadap waktu konsolidasi. Disarankan pada penelitian selanjutnya diperhitungkan efek dari *smertzone* pada proses konsolidasi menggunakan kombinasi *Prefabricated Vertical Drain* dan *preloading*, Bila diinginkan waktu konsolidasi yang lebih singkat, pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan spasi/jarak PVD yang lebih kecil dan yang terakhir Perlu dilakukan penelitian menggunakan merk PVD yang lain, guna mengetahui pengaruhnya terhadap waktu konsolidasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Tenggara Kendari. (2024, Maret 5). *www.scribd.com*. Retrieved from SCRIBD: <https://www.scribd.com/presentation/710634281/konsolidasi-Tanah-pada-teknik-sipil>.

Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Ir. Syaripudin Nasution, M. (2011). *Perbaikan Tanah*. Bandung: ITB Press.

Kahardiansyah, D. (2018, April). *kahardiansyahsipil.blogspot.com*. Retrieved from Teknik Sipil: <https://kahardiansyahsipil.blogspot.com/2017/05/contoh-makalah-konsolidasi-teknik-sipil.html>.

NAKHE, F. Y. (2021, September 28). <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/15577>. Retrieved from Medan Area University Repository:

<https://repositori.uma.ac.id/jspui/bitstream/123456789/15577/1/168110007%20-%20Fetra%20Yahya%20Nakhe%20-%20Fulltext.pdf>.

Universitas Pembangunan Jaya. (2023). *www.ocw.upj.ac.id*. Retrieved from Opencourseware Universitas Pembangunan Jaya: <https://www.ocw.upj.ac.id/files/Slide-TSP204-PERTEMUAN-10-11-KONSOLIDASI.pdf>.

WARDHANA, O. W. (2021, Juli). <https://repository.unja.ac.id/23331/>. Retrieved from Repository Universitas Jambi: <https://repository.unja.ac.id/23331/3/OKY%20WISNU%20WARDHANA%20-%20M1C115016%20%281%29.pdf>.

Widhiarto, H., Fatmawati, L. E., & Beatrix, M. (2018). Pengaruh PVD (Prefabricated Vertical Drain) Dalam Mempercepat Proses Konsolidasi Pada Konstruksi Taxiway Di Bandara Juanda Surabaya. *Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya*, 76.