

**ANALISIS PERBAIKAN TANAH DASAR MENGGUNAKAN
KOMBINASI *PRELOADING* DAN *PREFABRICATED VERTICAL
DRAIN* (STUDI KASUS TIMBUNAN PROYEK MUARA BAKTI,
BEKASI)**

Anggie Tri Putra Sinaga^a

^a *Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan,
Indonesia*

* *Corresponding E-mail* : anggie.21115011@student.itera.ac.id

Abstract: Soft soil has technically unfavorable properties to support a construction work. The soil had have a large settlement and needs much times to consolidate. These are often a problem in the implementation of construction work. In the case study of the Muara Bakti, Bekasi, the improvement of clay soils was needed to overcome the problems by using a combination Preloading and Prefabricated Vertical Drain (PVD). Installation of PVD could accelerate the time of settlement that due to pore water dissipation in the vertical direction. In final project, analysis of was calculated by using the Finite Element Method (FEM). Analysis of the spacing between PVD and the pattern of installation between PVD was also calculated to get the most effective distance adjusted for the fastest consolidation time, the spaces between PVD's calculated in 1 m, 1,5 m and 2 m.

From the results of calculation without using PVD's time reached 1597 days and the soil settle by 1,6 m. While using 1 m spacing PVD produced a time of consolidation for 12 days and the soil settled 1,6 m, spacing PVD 1,5 resulted in a consolidation time of 25 days and a spacing of 2 m resulted in 44 days of consolidation time. From the analysis, it could be concluded that the most effective installation distance was the smaller of spacing between PVDs and by using a triangle mounting pattern

Keyword : Soft Soil, Preloading, Prefabricated Vertical Drain (PVD), Consolidation

Abstrak: Tanah lunak memiliki memiliki sifat kurang baik secara teknis untuk mendukung suatu pekerjaan kontruksi. Tanah tersebut mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Hal inilah yang sering menjadi masalah dalam pelaksanaan suatu pekerjaan kontruksi. Pada studi kasus timbunan Muara Bakti, Bekasi ini, perbaikan tanah lempung untuk mengatasi masalah diatas adalah dengan cara menggunakan kombinasi antara Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD). Pemasangan PVD dapat mempercepat waktu penurunan yang terjadi karena disipasi air pori terjadi dalam arah vertical. Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisa perhitungan konsolidasi tanah dengan menggunakan metode elemen hingga. Analisa jarak spasi antar PVD serta pola pemasangan antar PVD juga diperhitungkan untuk mendapatkan jarak yang paling efektif yang disesuaikan dengan waktu konsolidasi yang paling cepat, jarak spasi antar PVD yang diperhitungkan ialah 1 m, 1,5 m dan 2 m.

Dari hasil perhitungan tanpa menggunakan PVD yang telah dilakukan maka diperoleh waktu mencapai 1597 hari dan mengalami penurunan sebesar 1,6 m. Sedangkan dengan menggunakan jarak spasi PVD 1 m menghasilkan waktu konsolidasi selama 12 hari dan mengalami penurunan sebesar 1,6 m, jarak spasi antar PVD 1,5 m menghasilkan waktu konsolidasi selama 25 hari dan jarak spasi 2 m menghasilkan waktu konsolidasi selama 44 hari. Dari analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa

jarak pemasangan yang paling efektif adalah semakin kecil jarak spasi antar PVD dan dengan menggunakan pola pemasangan segitiga.

Kata Kunci : Tanah Lunak, Preloading, Prefabricated Vertical Drain (PVD), Konsolidasi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah dapat didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das,1995). Kembang susut yang tinggi, plastisitas yang tinggi, daya dukung yang rendah, kandungan air yang tinggi dan sulit terdrainase karena permeabilitas tanah yang relatif rendah serta kompresibilitas yang besar menyebabkan tanah mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Untuk menangani masalah ini, maka kita perlu mempercepat konsolidasi. Salah satu metode untuk mempercepat konsolidasi tersebut adalah dengan menggunakan *preloading* yang dikombinasikan dengan *Prafabricated Vertical Drain* (PVD). *Preloading* atau pemberian beban awal dilakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah akan

termampatkan sebelum konstruksi didirikan. PVD adalah sistem drainase vertikal mempunyai bentuk berupa sabuk berpenampang persegi panjang , terdiri dari bagian luar berupa penyaring yang dibuat dari bahan *geotextile/synthetic*, kertas atau goni dan bagian dalam yang berfungsi sebagai media aliran yang terbuat dari plastik atau serabut organik.

Pada saat ini penggunaan PVD sudah cukup banyak digunakan karena dalam penggunaannya dapat mempercepat waktu penurunan dan konsolidasi tanah secara signifikan dari beberapa tahun ke dalam hitungan bulan. Ini dikarenakan *vertical drain* mengalirkan air secara cepat arah horizontal. PVD berfungsi untuk mempercepat konsolidasi tanah, terutama pada jenis tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silty clay*). Kontruksi pemasangan PVD biasa dilakukan untuk lahan reklamasi pantai, lahan perumahan dan industry, jalan raya, jalan kereta api, landasan pesawat terbang, kontruksi pelabuhan dan penumpukan (*container yard*) dan konstruksi tanah timbunan.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Berapa besar penurunan tanah lunak dengan menggunakan *preloading* dan PVD.
2. Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi tanah lunak menggunakan kombinasi *preloading* dan PVD.
3. Bagaimana perbandingan lama waktu konsolidasi tanah lunak tanpa menggunakan PVD dan menggunakan PVD.

Tujuan

1. Mengetahui besarnya penurunan tanah lunak dengan menggunakan *preloading* dan PVD.
2. Menganalisis lamanya waktu konsolidasi tanah lunak yang dibutuhkan tanpa menggunakan PVD.
3. Menganalisis perbandingan lama waktu konsolidasi tanah lunak tanpa menggunakan PVD dan menggunakan PVD.
4. Menganalisis perbandingan jarak 1 m, 1,5 m, dan 2 m terhadap pemasangan PVD.
5. Menganalisis Faktor Keamanan terhadap konstruksi timbunan.

Ruang Lingkup Penelitian

Ruang Lingkup pengerjaan tugas akhir ini meliputi:

1. Pemodelan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dua dimensi.
2. Jenis tanah adalah tanah lempung dengan kadar air yang tinggi.
3. Analisis ini menggunakan kombinasi *preloading* dan PVD.
4. Menganalisis pemodelan tanah dengan menggunakan model tanah *Soft Soil*.
5. Pengaruh efek zona terganggu (*smear effect*) diabaikan.
6. Pola pemasangan PVD menggunakan pola segitiga

LANDASAN TEORI

Tanah Lempung

Tanah liat atau lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Tanah liat atau lempung mempunyai sifat permeabilitas sangat rendah dan berifat plastis pada kadar air sedang (Terzaghi 1987). Lempung atau tanah liat adalah suatu silika hidroaluminium yang kompleks. Mineral lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya, ada atau tidaknya air (selama pengeringan) dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang besar.

Sifat-sifat Tanah Lempung

Sifat – sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1999) :

1. Ukuran butir halus, yaitu kurang dari 0,002 mm
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Bersifat sangat kohesif
5. Proses konsolidasi lambat.

Sifat fisik dan sifat keteknikan tanah, lebih ditentukan oleh jenis dari klasifikasi tanah itu sendiri. Pengklasifikasian tanah dimaksudkan untuk mempermudah pengelompokan berbagai jenis tanah kedalam kelompok tanah yang sesuai dengan sifat teknik karakteristiknya. Pengelompokan tanah menempatkan tanah dalam 3 kelompok, tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus dan tanah organik.

Timbunan pada Tanah Lempung Lunak

Metode *preloading* atau pembebanan awal ialah metode penimbunan beban yang besarnya lebih besar atau sama dengan beban konstruksi yang akan

dilaksanakan. Timbunan pada lapisan tanah lempung berfungsi sebagai *preloading* yang mempercepat proses konsolidasi. Dengan terdisipasinya air pori pada lapisan tanah tersebut maka akan meningkatkan kuat geser tanah dan kohesi tanah, sehingga lapisan tanah tersebut dapat memikul beban yang besar dan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan dipergunakan. Penentuan tinggi timbunan sesuai dengan nilai penurunan agar tanah timbunan tidak dibuang sia-sia dan dapat dijadikan pondasi dari suatu konstruksi.

Tinggi timbunan kritis beban *preloading* ini dihitung berdasarkan dari dukung tanah lempung mula-mula, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan atau beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu H_{cr} kritis (H_{cr}).

Daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban *preloading* dihitung sebagai berikut :

$$Q_u = 2 \cdot C_u \quad (1)$$

$$Q_u = \gamma_{\text{timbunan}} \cdot H_{cr} \quad (2)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3)$$

$$\gamma_{\text{timbunan}} \cdot H_{cr} = \frac{Q_u}{Sf} \quad (4)$$

Maka :

$$H_{cr} = \frac{2 \cdot C_u}{\gamma_{\text{timbunan}}} \quad (5)$$

Dimana :

- Q_u = Daya dukung tanah (t/m^2)
- C_u = Kohesi tanah dasar (t/m^2)
- H_{cr} = Tinggi timbunan kritis (m)
- γ_{timbunan} = Berat Volume tanah timbunan (t/m^3)

Kombinasi antara metode *preloading* dengan instalasi PVD merupakan salah satu metode untuk mempercepat proses konsolidasi. Kombinasi pada metode ini dilakukan dengan cara memberika beban awal yaitu berupa timbunan (*preloading*) pada tanah lempung yang telah dipasang PVD

Pembebanan Awal (*Preloading*)

Metode *preloading* atau pembebanan awal adalah metode penimbunan beban yang besarnya lebih besar atau sama dengan beban kontruksi yang akan dilaksanakan. Timbunan pada lapisan tanah lempung berfungsi sebagai *preloading* yang mempercepat proses konsolidasi.

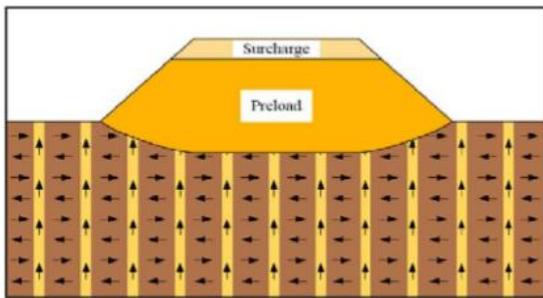
Dengan terdisipasinya air pori pada lapisan tanah tersebut maka akan meningkatkan kuat geser tanah dan kohesi tanah, sehingga lapisan tanah tersebut dapat memikul beban yang besar dan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan dipergunakan. Penentuan tinggi timbunan sesuai dengan nilai penurunan agar tanah timbunan tidak dibuang sia-sia dan dapat dijadikan pondasi dari suatu kontruksi.

Besarnya beban *preloading* yang akan diberikan dapat ditentukan terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan atau beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu H_{cr} kritis (H_{cr}). Apabila ternyata tinggi timbunan sebagai beban *preloading* yang akan diberikan lebih besar daripada H_{cr} , maka timbunan tersebut harus diletakkan secara bertahap (*stepped preloading*)

Prefabricated Vertical Drain (PVD)

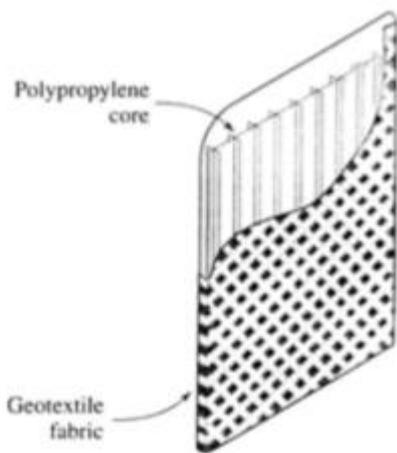
PVD Merupakan material *geosynthetic* yang konsep kerjanya sama dengan kolam pasir yang mempunyai karakteristik sebagai pengumpul air pori yang kemudian akan dialirkan secara vertikal baik ke atas maupun ke bawah lapisan tanah sepanjang PVD

tersebut. Laju konsolidasi yang rendah pada lempung jenuh dengan permeabilitas rendah dapat dinaikkan dengan menggunakan PVD, kemudian konsolidasi yang diperhitungkan akibat pengaliran horizontal menyebabkan disipasi kelebihan tekanan air pori yang lebih cepat, sedangkan pengaliran vertikal sangat kecil pengaruhnya. Dalam teori, besar penurunan konsolidasi akhir adalah sama, hanya laju dan waktu penurunannya yang berbeda - beda.



Gambar 1 Aliran air pori pada PVD

PVD umumnya berbentuk pita dengan sebuah inti plastik beralur terbuat dari material geosintesis (material polimer) yang dibentuk seperti potongan yang panjang. Material polimer dapat berupa Material PVC dengan lebar 90 sampai 100 mm, ketebalan 2 sampai 6 mm (Gulhati; Shaskhi K. 2005). Gambar lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Prefabricated Vertical Drain

PVD biasanya dipasang sampai pada kedalaman lapisan tanah *undrained* dengan menggunakan rig penetrasi statis. Untuk yang lebih dalam dibutuhkan

rig yang lebih besar untuk mempermudah proses penetrasi.

Karena tujuannya adalah untuk mengurangi panjang lintasan pengaliran, maka jarak antara drainase merupakan hal yang terpenting. PVD tersebut biasanya diberi jarak dengan pola persegi atau segitiga

Di lapangan, saluran vertikal sering dipasang dalam pola persegi atau segitiga (Gambar 3). Diameter ekuivalen dari sel satuan untuk setiap PVD dapat diperkirakan berdasarkan area pengaruh yang setara dari masing-masing PVD sebagai berikut :

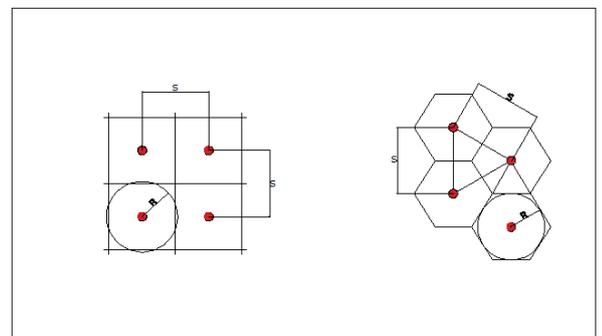
$$d_e = 1,13s \text{ untuk pola persegi} \quad (6)$$

$$d_e = 1,06s \text{ untuk pola segitiga} \quad (7)$$

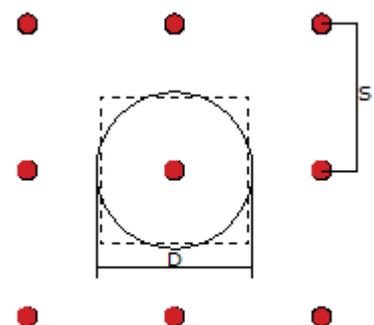
dimana :

d_e = Diameter

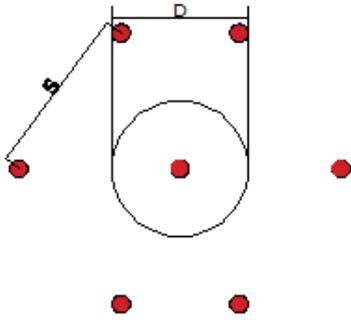
s = Jarak antara dua saluran vertikal yang berdekatan



Gambar 3 Pola PVD (kiri pola persegi, kanan pola segitiga)



Gambar 4 *Vertical Drain Persegi*



Gambar 5 *Vertical Drain Segitiga*

Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses terdispasinya air tanah akibat bekerjanya beban, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah. Proses ini berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total yang telah benar-benar hilang. Peristiwa konsolidasi umumnya dipicu oleh adanya beban/muatan diatas tanah. Muatan tersebut dapat berupa tanah atau konstruksi bangunan yang berdiri diatas tanah. Bila lapisan tanah mengalami beban di atasnya, maka pori akan mengalir keluar dari lapisan tersebut dan volume nya akan berkurang atau dengan kata lain akan mengalami konsolidasi (Wesley, 1977).

Perhitungan Penentuan Tekanan Prakonsolidasi

Tegangan maksimum yang pernah dialami tanah disebut tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*).

Menurut riwayat pembebanannya, tanah dibedakan atas :

1. *Normally consolidated*

Ialah tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*) atau tekanan prakonsolidasi sama dengan tekanan *overburden* efektif. Tegangan yang pernah terjadi sama dengan tegangan yang dialami sekarang ($P_c = P_o$) atau nilai $OCR = 1$

2. *Over consolidated*

Jika tekanan prakonsolidasi lebih besar tekanan *overburden* efektif yang ada pada waktu, *Over consolidated* terjadi apabila ($P_c' > P_o'$) atau nilai $OCR > 1$

- a. Perubahan tegangan total yang terjadi karena erosi, penggalian, melelehnya lapisan salju yang menutupo.
 - b. Perubahan tekanan pori karena penguapan oleh pohon-pohon, pemompaan air tanah dalam, pengaliran air tanah ke lorong saluran, dan pengeringan lapisan permukaan.
3. *Under consolidated*, dimana $OCR < 1$

Ialah jika tanah tersebut sedang mengalami konsolidasi, tidak stabil. Tanah dalam proses pembentukan (baru diendapkan) dan belum sampai pada kondisi setimbang. Tegangan prakonsolidasi lebih kecil dari tegangan *overburden* dengan nilai $OCR < 1$

Dimana,

$$OCR = \text{Overconsolidation ratio} = \sigma_p' / \sigma_o'$$

$$\sigma_p' = \text{Preconsolidation pressure (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_o' = \text{Effective overburden pressure (kN/m}^2\text{)}$$

Perhitungan Besarnya Penurunan Konsolidasi

Besarnya penurunan konsolidasi dapat dicari dengan mempergunakan persamaan sebagai berikut :

$$s = \frac{Cc * Cs}{1 + e_0} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (6)$$

Sedangkan besarnya penurunan pada kondisi tanah lempung yang terlalu terkonsolidasi berlebih adalah :

Apabila $(P_o + \Delta P) < P_c$

$$s = \frac{C_s}{1+e_0} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (7)$$

Apabila $(P_o + \Delta P) > P_c$

$$s = \frac{C_s}{1+e_0} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} + \frac{C_c}{1+e_0} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c} \quad (8)$$

dimana :

- s = Penurunan akibar konsolidasi
- Cc = Indeks kompresi tanah
- Cs = Indeks pengembangan tanah
- P_o = Tegangan *overbuden* efektif (t/m²)
- P_c = Tegangan prakonsolidasi efektif (t/m²)
- ΔP = Penambahan tegangan (t/m²)
- e₀ = Angka Pori
- H = Tebal lapisan tanah (m)

Plaxis Sebagai Program Metode Elemen Hingga

Plaxis adalah salah satu program aplikasi komputer yang menghitung konsolidasi dengan menggunakan teori konsolidasi Biot. Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik.

Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara *axisymetris*. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri

dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva.

Model Tanah Lunak (*Soft Soil*)

Model tanah lunak ini diambil berdasarkan teori Cam – Clay yang dikembangkan di Cambridge. Seperti pada model Mohr - Coloumb, batas kekuatan tanah dimodelkan

dengan parameter kohesi (c), sudut geser (φ), dan sudut dilatasi (ψ). Sedangkan untuk kekakuan tanah dimodelkan dengan menggunakan parameter lamda λ* dan kappa κ*.

Dimana :

a. Lamda (λ*)

Lamda ialah parameter untuk menentukan indeks kompresi termodifikasi, parameter ini menggunakan nilai Cc pada tanah.

b. Kappa (κ*)

Kappa ialah parameter untuk menentukan indeks muai termodifikasi, parameter ini menggunakan nilai Cr pada tanah.

Stabilitas Keamanan Lereng

Suatu tanah akan mengalami perubahan tegangan apabila diberikan tambahan beban atau pengurangan beban. Pada kegiatan penimbunan yang akan membentuk suatu lereng baru akan mengakibatkan perubahan tegangan pada tanah yang berpengaruh terhadap kestabilan tanah akibat adanya penambahan beban timbunan

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Timbunan merupakan suatu lereng buatan manusia. Dalam menentukan stabilitas atau kemantapan lereng dikenal istilah faktor keamanan (*safety factor*) yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan gerakan terhadap gaya-

gaya yang menggerakkan tanah tersebut dianggap stabil, bila dirumuskan sebagai berikut:

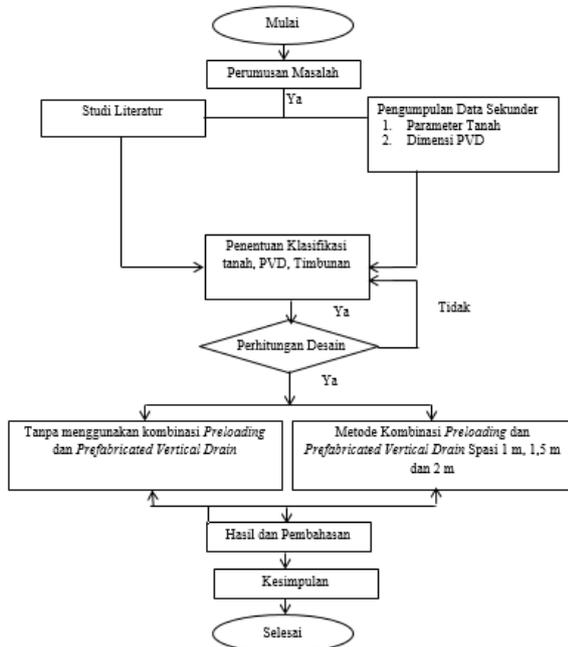
Faktor keamanan (F) = gaya penahan / gaya penggerak Dimana untuk keadaan :

- $F > 1,0$: lereng dalam keadaan aman
- $F = 1,0$: lereng dalam keadaan seimbang, dan siap untuk longsor
- $F < 1,0$: lereng tidak aman

METODOLOGI

Diagram Alir

Adapun diagram alir yang dilakukan dalam tugas akhir ini dapat dilihat di Gambar 6.



Gambar 6 Diagram Alir

Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang dipakai dalam proses analisis perbaikan tanah dasar menggunakan kombinasi. Data sekunder ini didapatkan bukan melalui pengamatan secara langsung di lapangan.

Stratifikasi Tanah

Berdasarkan dari pengujian laboratorium dan lapangan maka dapat diperoleh stratifikasi tanah pada gambar 7, lapisan tanah dasar didapatkan memiliki ketebalan 15 m, lapisan dibawah lapisan tanah lempung lunak merupakan lapisan tanah yang kedap air yaitu tanah lempung keras. Tanah timbunan berupa pasir dan beban yang direncanakan setelah proses perbaikan tanah merupakan beban timbunan batubara.



Gambar 7 Stratifikasi Tanah

Data Parameter Tanah

Data parameter tanah didapatkan berdasarkan hasil uji lab dan uji lapangan berupa data *bore log* dan sondir yang ada di lampiran.

Tabel 1. Data Parameter Tanah

Parameter	Timbunan	Tanah Dasar
Kedalaman (m)	+3	0 - 15
Kondisi	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>
Metode	<i>Mohr - Coloumb</i>	<i>Soft Soil</i>
NSPT		0
Jenis Tanah	Sand Loose	Soft Clay
Berat Jenis	1.4	2.67
angka pori	0.5	0.9
γ_{unsat} (KN/m ³)	17	16.671
γ_{sat} (KN/m ³)	20	18.432
γ_{air} (KN/m ³)	9.81	9.81
Cu (KN/m ²)		13.729
C'	1	4
ϕ_T (drg)	30	23
E (KN/m ²)	13000	5000
Poisson ratio (u)	0.3	0.35
kv	10	4,19x10 ⁻⁴
kh=kv	10	4,19x10 ⁻⁴
Cc		0.51
Cs (Swell Index)		0.05
λ^*		0.116
κ^*		0.03

Dalam menentukan nilai indeks kompresi termodifikasi (λ^*) dan indeks muai termodifikasi (κ^*) digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\lambda^* &= \frac{Cc}{2,3 \times (1+e)} \\ &= \frac{0,51}{2,3 \times (1+0,9)} \\ &= 0,116\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\kappa^* &= \frac{2 \times Cr}{2,3 \times (1+e)} \\ &= \frac{2 \times 0,05}{2,3 \times (1+0,9)} \\ &= 0,030\end{aligned}$$

Data Prefabricated Vertical Drain (PVD)

PVD atau dengan nama lain *Vertical Wick Drain* memiliki lapisan luar yang terbuat dari non woven geotextile. Lapisan ini terbuat dari *polypropylene* yang berfungsi juga sebagai filter dengan standard ASTM 4491 untuk ketahanan terhadap tusukan dan elongation. Pori – pori dan lapisan tersebut juga memiliki standard ASTM 4751.

Data Prefabricated Vertical Drain :

1. Panjang PVD : 15,000 m
2. Lebar PVD : 5 mm
3. Tebal PVD : 100 mm
4. Pola Pemasangan PVD : Segitiga
5. Jarak antar PVD : 1 m, 1,5 m, 2 m dan
6. Dimensi *Mandrel* : 0,130 m x 0,040 m

Perhitungan Beban Timbunan

Besarnya beban *preloading* yang akan diberikan dapat ditentukan terlebih dahulu, pada kasus ini diberikan beban timbunan berupa beban segitiga batubara dengan massa jenis batubara sebesar 833 Kg/m³ dengan tinggi rencana 15 m dengan berat

312375 Kg/m³ atau 344.33 ton/m³. Daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban *preloading* dihitung sebagai berikut :

1. Menentukan beban akibat timbunan

$$\begin{aligned}\Delta\sigma &= \gamma_{\text{unsat}} \times \text{tinggi timbunan} \\ &= 17 \times 3 \\ &= 51 \text{ kn/m}^2\end{aligned}$$

2. Menentukan tegangan efektif tanah terkonsolidasi

$$\begin{aligned}\Delta\sigma' &= \gamma' \times \text{tinggi tanah}/2 \\ &= (18,432 - 9,81) \times 15/2 \\ &= 64,665 \text{ kn/m}^2\end{aligned}$$

3. Menentukan tinggi kritis timbunan

$$\begin{aligned}H_{cr} &= \frac{Nc \times Cu}{Fs \times \gamma} \\ &= \frac{5,14 \times 13,729}{1,3 \times 18,432} \\ &= 2,945 \approx 3 \text{ m}\end{aligned}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai analisa perhitungan konsolidasi tanah untuk mengetahui perbandingan lama waktu konsolidasi tanah antara tanpa menggunakan PVD dengan yang menggunakan PVD dengan spasi pemasangan PVD yaitu 1 m, 1,5 m, 2 m ,serta untuk mengetahui perbandingan besar penurunan, Tekanan air pori dan faktor keamanan dengan metode elemen hingga (Plaxis V8).

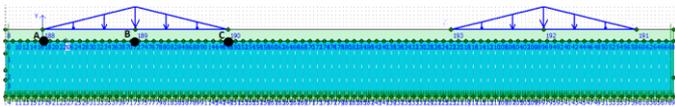
Penurunan Pada Perbaikan Tanah Lempung

Besarnya penurunan konsolidasi dapat dicari dengan mempergunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}S &= \frac{Cs \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \\ &= \frac{0,51 \times 15}{1 + 0,9} \log \frac{75 + 51}{75}\end{aligned}$$

$$= 0,907 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

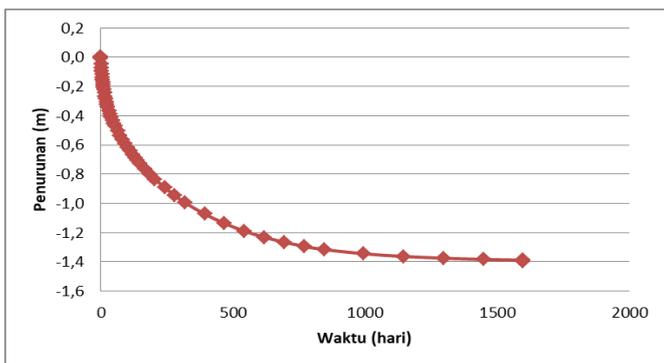
Gambar 8 menunjukkan mesh titik peninjauan penurunan terhadap waktu, dimana titik nodal A adalah titik pemasangan *settlement plate* kiri, titik nodal B adalah titik tengah lapisan permukaan tanah, dan titik nodal C adalah titik pemasangan *settlement plate* kanan.



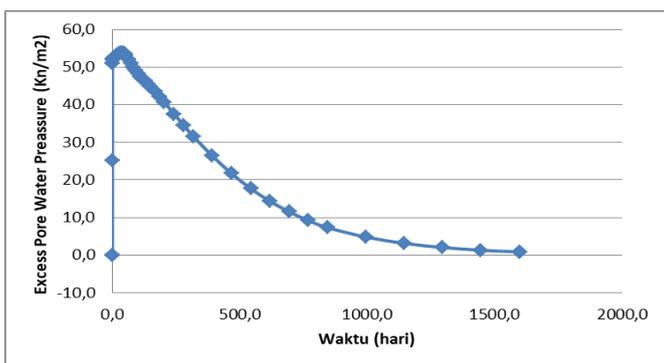
Gambar 8 Penentuan titik nodal

Pemodelan Tanah Tanpa Menggunakan PVD

Adapun waktu yang dibutuhkan pada tanah lempung untuk mengalami konsolidasi tanpa adanya PVD sebagai berikut :



Gambar 9 Grafik penurunan terhadap waktu tanpa menggunakan PVD



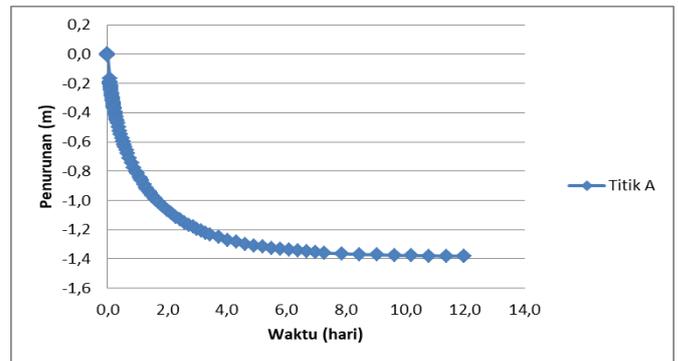
Gambar 10 Grafik Pengaruh *Excess Pore Pressure* terhadap waktu tanpa menggunakan PVD.

Jadi kesimpulan pada kasus tanah lempung tersebut dengan tanpa menggunakan PVD membutuhkan waktu terkonsolidasi selama 1597 hari dan

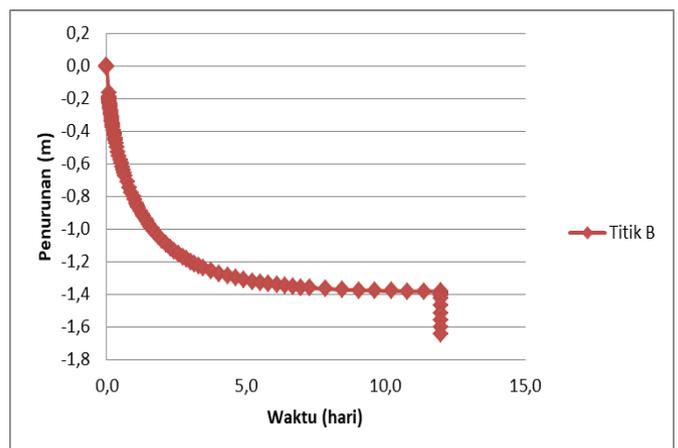
mengalami penurunan sebesar $\pm 1,4 \text{ m}$ pada titik A, B dan C.

Penurunan Tanah Dengan Menggunakan PVD spasi 1 M

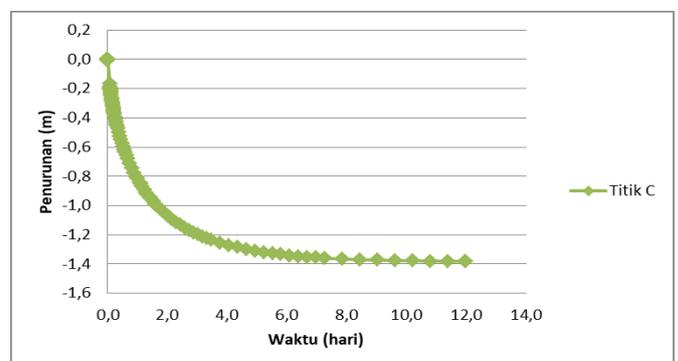
Adapun waktu yang dibutuhkan pada tanah lempung untuk mengalami konsolidasi dengan menggunakan PVD spasi 1 m sebagai berikut :



Gambar 11 Grafik penurunan di titik nodal A sebesar 1,38 m dengan waktu 12 hari



Gambar 12 Grafik penurunan di titik nodal B sebesar 1,6 m dengan waktu 12 hari

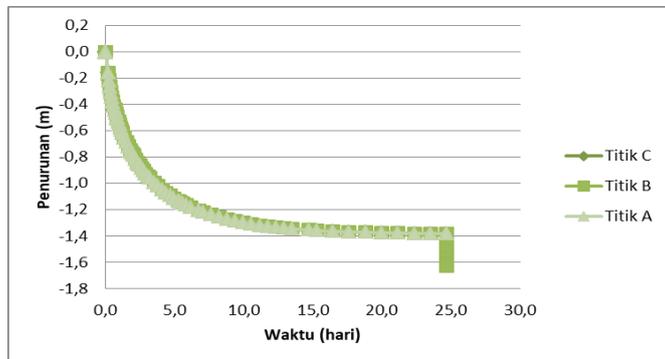


Gambar 13 Grafik penurunan di titik nodal C dengan waktu 12 hari

Penurunan Tanah Dengan Menggunakan PVD

Spasi 1,5 M

Adapun waktu yang dibutuhkan pada tanah lempung untuk mengalami konsolidasi dengan menggunakan PVD spasi 1,5 m sebagai berikut :



Gambar 14 Perbandingan grafik penurunan di titik nodal A, titik nodal B dan titik nodal C

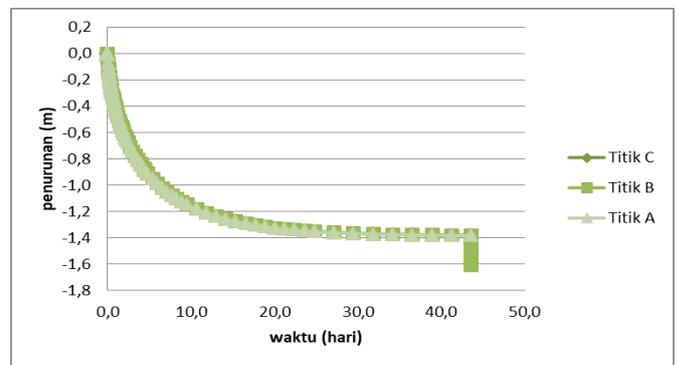
Tabel 2 Penurunan terhadap waktu menggunakan spasi PVD 1,5 m.

No	Spasi (m)	Penurunan (m)	Konsolidasi (hari)
1	1,5	1,38	25
2	1,5	1,6	25
3	1,5	1,4	25

Dari grafik dan tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa penurunan yang dihasilkan di ketiga titik tinjauan tersebut berbeda walaupun keadaan parameter dan klasifikasi tanah sama semua untuk setiap lapisan karena letak kontur melintang tanah lunak yang tidak sama. Tetapi penurunan yang dihasilkan pada Gambar 14 hampir sama karena letak kontur dan melintang keduanya berada pada ujung kaki timbunan.

Penurunan Tanah Dengan Menggunakan Spasi 2 M

Adapun waktu yang dibutuhkan pada tanah lempung untuk mengalami konsolidasi dengan menggunakan PVD spasi 2 m sebagai berikut :



Gambar 15 Perbandingan grafik penurunan di titik nodal A, titik nodal B dan titik nodal C

Tabel 3 Penurunan terhadap waktu menggunakan spasi 2 m.

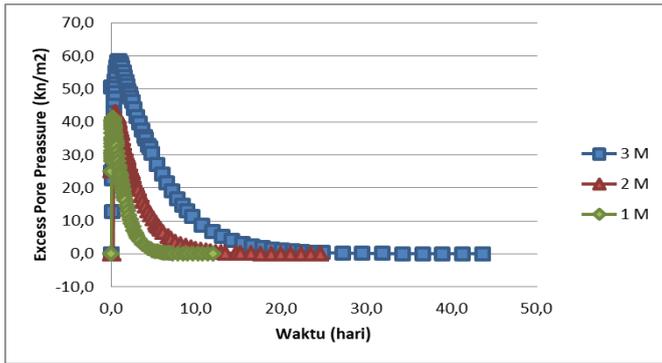
No	Spasi (m)	Penurunan (m)	Konsolidasi (hari)
1	2	1,38	44
2	2	1,6	44
3	2	1,4	44

Dari grafik dan tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa penurunan yang dihasilkan di ketiga titik tinjauan tersebut berbeda walaupun keadaan parameter dan klasifikasi tanah sama semua untuk setiap lapisan karena letak kontur melintang tanah lunak yang tidak sama. Tetapi penurunan yang dihasilkan pada Gambar 15 hampir sama karena letak kontur dan melintang keduanya berada pada ujung kaki timbunan.

Excess Pore Pressure Pada Program Metode Elemen Hingga (FEM)

Tegangan air pori dapat terjadi karena adanya penambahan beban akibat timbunan yang akan diterima oleh air. Dengan proses konsolidasi, air akan keluar dari masa tanah yang akan menyebabkan tegangan air pori menjadi berkurang. Daerah yang dipasang PVD sudah tidak mengalami tegangan air pori karena suda mengalami disipasi sedangkan daerah di luar PVD masih mengalami tegangan air pori eksese akibat beban timbunan gambar 16 menampilkan perbandingan nilai excess

pore water preassure terhadap waktu dengan metode elemen hingga



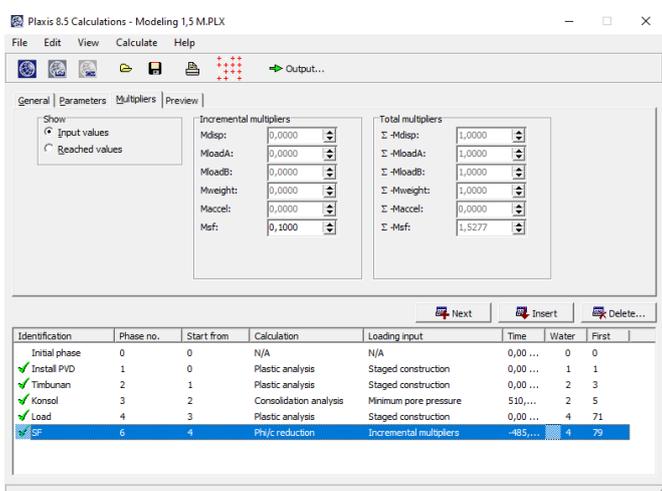
Gambar 16 Perbandingan nilai *Excess Pore Preassure* terhadap waktu di setiap titik nodal

Tabel 4 Nilai *Excess Pore Preassure* di setiap spasi

No	Spasi (m)	Nilai PWP (kN/m ²)
1	1	40,9
2	1,5	42,8
3	2	58

Stabilitas Keamanan Tanah

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* PLAXIS pada pemodelan timbunan tanah didapatkan stabilitas angka keamanan pada pemodelan spasi PVD 1 m , 1,5 m dan 2 m sebesar > 1,5 dimana angka tersebut menunjukkan bahwa kasus lereng timbunan Muara Bakti, Bekasi dalam keadaan stabil dan aman dalam melakukan konstruksi.



Gambar 17 SF Timbunan total setelah pemasangan PVD

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebagai berikut :

1. Pada hasil analisis pemodelan bahwa penurunan yang terjadi pada titik tinjau A dan C mengalami penurunan $\pm 1,4$ m sedangkan titik tinjau B mengalami penurunan sebesar 1,6 m.
2. Pada hasil analisis pemodelan kasus tanah lempung tanpa menggunakan PVD menghasilkan waktu konsolidasi sebesar 1597 hari dan mengalami penurunan sebesar 1,6 m, sehingga dibutuhkan perbaikan tanah seperti *Preloading dan Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat waktu konsolidasi.
3. Pada hasil analisis pemodelan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) didapatkan konfigurasi spasi 1 m dengan waktu konsolidasi selama 12 hari dan spasi 1,5 m menghasilkan waktu konsolidasi selama 25 hari dan pemasangan spasi 2 m menghasilkan waktu terkonsolidasi selama 44 hari.
4. Pada hasil analisis pemodelan PVD disimpulkan bahwa konfigurasi spasi 1 m menghasilkan waktu konsolidasi yang lebih cepat yaitu 12 dibandingkan dengan spasi 1,5 dan 2 m, semakin kecil spasi PVD yang dilakukan semakin cepat waktu tanah untuk terkonsolidasi.
5. Pada hasil analisis pemodelan stabilitas keamanan tanah diperoleh nilai *Safety Factor* sebesar 1,57. Dimana kondisi tanah baik dalam melakukan perbaikan tanah dan aman sebagai penahan beban yang berada di atasnya

Saran

Beberapa saran yang dapat penulis usulkan terkait penelitian mengenai *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* ialah sebagai berikut :

1. Penggunaan *software* berbasis elemen hingga sebaiknya memperhatikan pemilihan tipe, karena sangat mempengaruhi hasil *output* program. Semakin baik kualitas *software* maka hasil analisis semakin mendekati perilaku sebenarnya, namun diperlukan *hardware* yang cukup baik untuk dapat melakukan proses komputasi dengan baik.
2. Untuk mendapatkan perbandingan respon program yang benar, diperlukan penelitian lanjutan
3. Perlu dilakukan penelitian lanjut dengan variasi *spasi* antar pvd, dan material yang lebih beragam agar menghasilkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Ashutosh Sutra Dhar, 2011. *Ground Improvement using Pre-loading with Prefabrication Vertical Drains. International Journal of Geoengineering Case Histories* : 10.4417/IJGCH-02-02-01

Bowles, Joseph E. Johan K. Helim. 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika tanah)*. PT. Erlangga. Jakarta.

Bowles, E.J. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta.

Das, B. M., 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayas Geoteknis Jilid I)*. Jakarta :Erlangga.

Das, Braja M, *Mekanika Tanah (Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Terjemahan oleh Noor Endah & Indra Surya Mochtar. Jilid II Jakarta : Erlangga 1995

Hardiyatmo, Hary Christady., *Mekanika Tanah 2*, 1994, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Hansbo, S. 1981. *Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains. Proceedings, 10th*

International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 3, Stockholm.

Hansbo, S. 1979. *Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains. Ground Engineering*, July, Vol. 12, No.5

Hardiyatmo, H.C., 1999, "Mekanika Tanah I", PT.Gramedia Pustaka Umum, Jakarta

Holtz, W.G. and Gibbs, H.J. 1956. *Engineering Properties of Expansive Clay Transactions*. ASCE.

Indraratna Buddhima, Aljorany A., Rujikiatkamjorn Cholachat. (2011). "Consolidation by Vertical Drain Beneath a Circular Embankment Using Analytical and Numerical Modelling". *Journal of Geomechanics*, ASCE, 2011, 1000-1005.

Indraratna B., Bamunawita C., Redana I., McIntosh G. (2003). "Modelling of Prefabricated Vertical Dains in Soft Clay and Evaluation of Their Effectiveness in Practice". *Journal of Ground Improvement*. 7(3), 2003, 127138."

Michael, 2017. Analisis konsolidasi tanah lunak menggunakan preloading dan pvd dengan metode analitis dan metode elemen hingga (studi kasus proyek jalan bebas hambatan medan-kualanamu km 36+100), Medan.

.Ramli Nazir dkk,2017. *Application and Design of Transition Piled Embankment with Surcharged Prefabricated Vertical Drain Intersection over Soft Ground*. *Arab J Sci Eng* (2018) 43:1573–1582

Skempton, Alec W. 1953. *The Coloidal Activity of Clays*. 3 rd International Conference Soil Mech found Eng. Switzerland, vol. 1.

Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

