BAB II
LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dari hasil penelusuran yang dilakukan, guna mendukung pembahasa skripsi ini, penelitian menemukan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini menjadi refrensi dan pedoman dalam penulisan skripsi ini. Adapun referensi jurnal dan buku sebagai berikut :

Juniarto (2011) melakukan penelitian mengenai “Analisis Waktu Penurunan Tanah Dengan Kombinasi Metode Preloading Dan PVD (*prefabricated vertical drain)* Antara Pola Segitiga Dan Persegi Pada Perbaikan Tanah ”. Dengan metode yang digunakan adanya percepatan waktu penurunan dengan menggunakan PVD dan secara cepat dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, disimpulkan bahwa hasil perhitungan penurunan dengan preloading dan perhitungan preloading dikombinasi dengan PVD mempunyai besar penurunan yang sama yaitu 0,731 meter.

Mufidatul Rochmah (2017) melakukan penelitian mengenai “Perencanaan Perbaikan Tanah Dengan *Preloading*, PVD (*prefabricated vertical drain)* Dan Geotextile Pada Lapangan Penumpukan Petikemas Di Terminal Petikemas Trisakti Banjarmasin”. Dengan metode yang digunakan adalah *preloading* atau pembebanan PVD (*prefabricated vertical drain)* dan geotextile. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, disimpulkan bahwa elevasi timbunan awal +2.50 m dan elevasi timbunan akhir +5.50 m dengan beban total timbunan sebesar 12.924 t/m, sedangkan PVD yang digunakan adalah PVD jenis *prefabricated band drain* dengan diameter 100mm, ketebalan 4 mm, panjang 31m, jarak pemasangan antar PVD 0,75 m.

Muhammad Faishal Haq (2017) melakukan penelitian mengenai “Perencanaan Timbunan Dan Konstruksi Penahan Tanah Untuk Terminal Penumpang Di Pelabuhan Bima Nusa Tenggara Barat”. Dengan metode diperlukan perencanaan perbaikan tanah dasar untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar dan mempercepat proses pemampatan tanah.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, disimpulkan bahwa Untuk tinggi timbunan pelaksanaan (H_R) tertinggi adalah 7,493 meter dari subbase dan perencanaan PVD (*prefabricated vertical drain)* menggunakan pola pemasangan segiempat dengan jarak antar PVD 1 meter dan kedalaman 34 meter.

Dofran Winner (2017) melakukan penelitian mengenai "Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* Dengan Variasi Kedalaman Dan Perkuatan Lereng Dengan Turap". Dengan metode perbaikan tanah dasar menggunakan preloading yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Berdasarkan hasil penelitian tersebut bahwa ketebalan lapisan tanah lunak pada lokasi proyek adalah bervariasi yaitu 34.0 meter sampai dengan 39.0 meter untuk kedalaman PVD dan tinggi timbunan yang memberikan hasil perencanaan paling optimum dan ekonomis adalah zona 3, kedalama PVD 2/3 H (H = ketebalan lapisan tanah lunak) dan tinggi timbunan 6.70 meter, untuk zona 4 dan zona 5 tidak perlu dipasang PVD dan tinggi timbunan 1,40 meter.

Syahrul Khoiruddin Satindra (2018) melakukan penelitian mengenai "Analisis Penurunan Konsolidasi Metode *Preloding* Dengan Dan Tanpa PVD (*prefabricated vertical drain*) Pada Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Segmen Lima STA 20+375". Dengan metode *Preloding* (*prefabricated vertical drain*) PVD, sehingga proses penurunan dapat dipercepat secara signifikan. Berdasarkan hasil penelitian tersebut disimpulkan besar penurunan dengan metode *preloading* yang terjadi adalah sebesar 1,370 m dengan perhitungan manual dan 1,460 m dengan menggunakan program PLAXIS 8.2 2D. Sedangkan yang dikombinasikan dengan PVD didapat besar penurunan pada kisaran 1,2 m di tiap pola dan jaraknya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tanah dan Karakteristiknya

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpatikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Berdasarkan ukuran partikel, tanah dibagi menjadi empat jenis; kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*). Menurut Sistem Klasifikasi Unified, kerikil dan pasir disebut sebagai tanah berbutir kasar, sedangkan lanau dan lempung disebut sebagai.tanah berbutir halus. Tanah memiliki parameter-parameter penting yang menunjukkan sifat tanah tersebut, antara lain; berat volume tanah (γ), kohesi (C), dan sudut geser tanah (ø).

Kohesi dan sudut geser dalam tanah merupakan parameter teknis tanah yang digunakan untuk memprediksi kemampuan mendukung beban dari lapisan tanah yang bersangkutan. Tanah berbutir kasar memiliki nilai kohesi yang sangat kecil, atau bahkan tidak memiliki nilai kohesi sama sekali, sedangkan tanah berbutir halus memiliki nilai kohesi. Berbeda dengan kohesi, tanah berbutir halus tidak memiliki sudut geser tanah, sedangkan tanah berbutir kasar memiliki sudut geser tanah.

2.2.2 Analisis Parameter Tanah

Stratigrafi tanah dibuat untuk mengetahui kondisi tanah dasar. Analisis parameter tanah dilakukan dengan menggunakan pendekatan statistik, pendekatan korelasi, dan persamaan-persamaan yang dianggap perlu.

2.2.2.1 Pendekatan Statistik

Sebelum membuat stratigrafi tanah, perlu dilakukan pendekatan statistik sederhana terhadap data-data tanah yang dimiliki. Beberapa persamaan statistik antara lain :

Rata-rata (Mean) :

$$\bar{X} = \sum_{n}^{1} = {}_{1}X \quad (2.1)$$

Standart Deviasi

$$\text{STD} = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X}}{n}} \quad (2.2)$$

dimana :

X = nilai data

Metode yang digunakan adalah cara statistik dengan selang kepercayaan yang baik, yaitu selang yang pendek dengan derajat kepercayaan yang tinggi. Oleh karena itu, digunakan selang kepercayaan 95%. Bentuk umum selang kepercayaan adalah Batas Bawah < (Parameter Tanah) < Batas Atas. Dengan menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$\bar{X} - \frac{STD}{\sqrt{n}} t_{(db)} < (\mu) < \bar{X} + \frac{STD}{\sqrt{n}} t_{(db)} \quad (2.3)$$

dimana :

$\bar{X}$ = rata-rata

STD = standart deviasi

n = jumlah data

$t_{(db)}$ = derajat kebebasan (pengali) yang dipadatkan

Dari **tabel 2.1** dengan nilai $\alpha = 0{,}05$ dan v = n – 1

μ = nilai parameter tanah

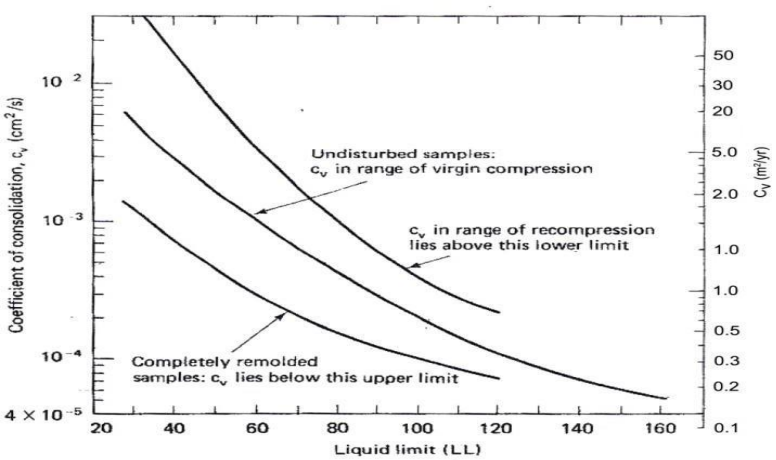
2.2.2.2 Pendekatan Korelasi dan Rumus Empiris

Untuk korelasi antara nilai NSPT dengan sifat-sifat fisik dan mekanis tanah ditunjukkan pada **Tabel 2.1**, **Gambar 2.1**, **Gambar 2.2.** untuk menunjukan nilai statistik $t_{(db)}$seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.1 NSPT dan Korelasinya

	Cohesionless Soil				
N (blows)	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 – 50	> 50
γ (kN/m^3)	-	12 - 16	14 - 18	16 – 20	18 – 23
ϕ (º)	-	25 - 32	28 - 36	30 – 40	> 40
State	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr (%)	0 - 15	15 – 35	35 - 65	65 – 85	85 – 100
	Cohesive Soil				
N (blows)	< 4	4 – 6	6 -15	16 – 25	> 25
γ (kN/m^3)	14 - 18	16 – 18	16 - 18	16 – 20	> 20
cu (kPa)	< 25	20 – 50	30 - 60	40 -200	> 200
Consistency	*Very Soft*	Soft	Medium	Stiff	Hard

sumber : J.E. Bowles, 1984



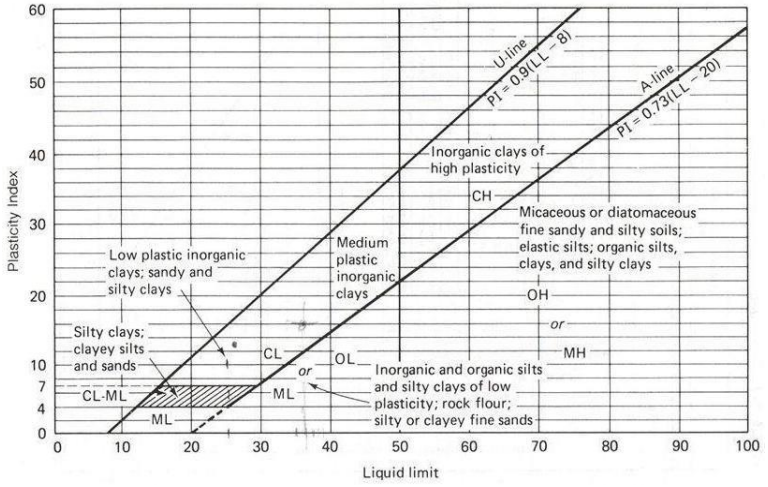
Gambar 2.1 Hubungan Koefisien Konsolidasi (Cv) dan Batas Cair (LL)

(sumber : After US. Navy, 1981)

Tabel 2.2 Nilai $t_{(db)}$

	∝						
v	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	318,289	636,578
2	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	22,328	31,600
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	1,4,76	2,015	2,571	3,365	4,032	5,894	6,869
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	1,383	1,883	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	1,325	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,768
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,689
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,660
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
50	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	3,261	3,496
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,174	3,390
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160	3,373
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291

sumber: Statistik untuk Teknik, 2001



Gambar 2.2 Hubungan Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI)

(sumber : ASTM, Cassagrande tahun 1998)

2.2.2 Distribusi Beban pada Tanah

Beban yang bekerja di atas tanah, akan menghasilkan tegangan hingga di kedalaman tertentu pada tanah. Besarnya tegangan di dalam tanah ini tergantung dari sifat tanah saat mengalami pembebanan dan bentuk dari beban yang bekerja. Umumnya tegangan yang diakibatkan oleh beban di permukaan tanah, akan berkurang bila kedalaman tanah bertambah.

- Penambahan tegangan pada tanah

$\Delta\sigma$ merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah-tengah lapisan. Menurut Braja M. Das (1986)*".* diagram tegangan tanah akibat timbunan adalah sebagai berikut :

$$\Delta\sigma = \frac{q_o}{\pi}\left[\left(\frac{B_1+B_2}{B_2}\right)(\propto_1 + \propto_2) - \frac{B_1}{B_2} \propto 2\right] \qquad (2.3)$$

Dimana :

q_o = beban timbunan $(\gamma_{\text{timbunan}} \text{ X } h_{\text{timbunan}})$

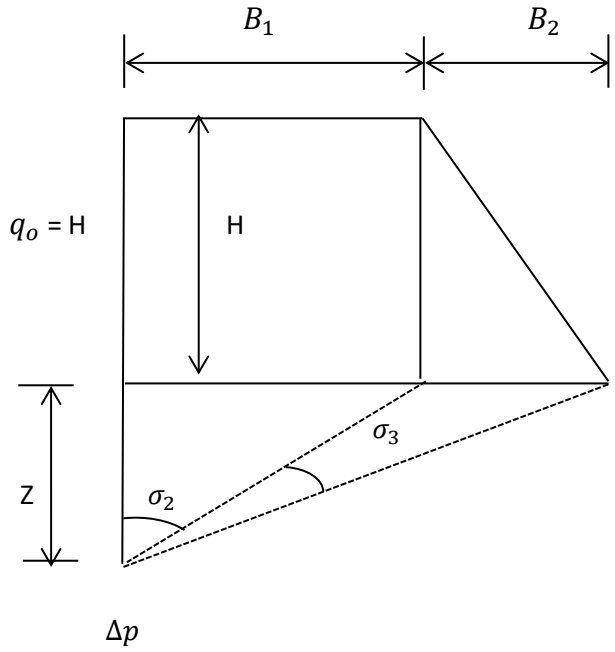
Δσ = besarnya tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah-tengah lapisan

$$\alpha_1 = tan^{-1}\left(\frac{B_1+B_2}{z} rad\right) - tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z} rad\right) \quad (2.4)$$

$$\alpha_2 = tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z} rad\right) \quad (2.5)$$

B_1= setelah lebar timbunan

B_2= panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan.



Gambar 2.3 Visualisasi dan Notasi $\Delta\sigma$

Harga $\Delta\sigma$ yang diperoleh akibat beban setengah timbunan seperti yang divisualisasikan pada **Gambar 2.3**, sehingga untuk timbunan yang simetris, nilai $\Delta\sigma$ harus dikalikan 2

2.2.3 Pemampatan Tanah

Pemampatan (*settlement*) merupakan proses penurunan tanah. Pemampatan disebabkan oleh penambahan tegangan yang terjadi pada tanah akibat beban luar.

2.2.3.1 Lapisan Compressible

Lapisan compressible adalah lapisan tanah lunak yang mampu memampat sesuai dengan karakteristiknya. **Tabel 2.3** menunjukkan konsistensi tanah lunak dan taksiran harga c_u dan NSPTnya.

Tabel 2.3 Konsistensi tanah berdasarkan harga taksiran c_u dan NSPT

Kosistensi Tanah	Taksiran Harga Kekuatan geser undrined c_u		Taksiran harga SPT, harga N
	kPa	ton/m^2	
Sangat Lunak (very soft)	0-12,5	0 - 1,25	0 – 2,5
Lunak (soft)	12,5 - 25	1,25 - 2,5	2,5 - 5
Menengah (medium)	25 - 50	2,5 - 5	5 - 10
Kaku (stiff)	50 - 100	5 - 10	10 - 20
Sangat kaku (very stiff)	100 - 200	10 - 20	20 - 40
Keras (hard)	> 200	> 20	> 40

sumber : Mochtar, 2012 dalam skripsi Muhammad Faisal H

Lapisan tanah yang memampat adalah tanah dengan konsistensi *very soft* hingga *medium*, sehingga perhitungan pemampatan tanah dilakukan untuk tanah dengan NSPT 0 s/d 10.

2.2.3.2 Pemampatan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation*)

Pemampatan konsolidasi primer merupakan proses keluarnya air dan udara dari dalam tanah akibat bekerjanya beban luar yang dipengaruhi oleh waktu. Besar pemampatan konsolidasi primer pada lapisan tanah lunak setebal H dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Das, 2001) :

1. Normally Consolidated Soil

$$S_{c_i} = \frac{H_i}{1+e_o}\left[C_c \log\left[\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'}\right]\right] \quad (2.6)$$

2. Overconsolidated Soil
   Bila ($\sigma_o' + \Delta\sigma$)$\leq \sigma_c'$

$$S_{c_i} = \frac{H_i}{1+e_o}\left[C_s \, log\left(\frac{\sigma_o'}{\sigma_o'}\right)\right] \quad (2.7)$$

Bila ($\sigma_o' + \Delta\sigma$)

$$S_{c_i} = \frac{H_i}{1+e_o}\left[\left[C_C \log\left(\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'}\right)\right]\right] \quad (2.8)$$

dimana :

S_{c_i} = besar pemampatan konsolidasi lapisan tanah ke-i

Hi = tebal lapisan tanah ke-i

e_o = angka pori awal lapisan tanah ke-i

C_c = koefisien kompresi tanah lapisan ke-i (*compression index*)

C_s = koefisien mengembang tanah lapisan ke-i (*swelling index*)

σ_o' = tegangan tanah vertikal efektif di titik tengah-tengah lapisan tanah ke-i

$\Delta\sigma$ = penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau akibat beban luar

Besarnya koefisien kompresi (C_c) tanah yang digunakan untuk menghitung besar pemampatan konsolidasi yang terjadi dapat ditentukan dari hasil tes laboratorium atau menggunakan rumus empiris berikut :

$$C_C = 0{,}30(e0 - 0{,}27) \quad (2.9)$$

Dimana :

e_o = angka pori

Sedangkan nilai Cs dapat diambil menggunakan persamaan :

$$C_{S=\left(\frac{1}{5}\, s/d\frac{1}{10}\right)C_c} \quad (2.10)$$

2.2.4 Waktu Pemampatan Tanah Dasar

Proses konsolidasi tanah lempung yang tebal berlangsung dalam waktu yang sangat lama. Perbandingan antara pemampatan tanah pada saat t dengan pemampatan total yang terjadi disebut derajat konsolidasi. Nilai derajat konsolidasi adalah antara 0% sampai 100%. Derajat konsolidasi 0-60% dirumuskan dengan :

$$U = \left(2\sqrt{\frac{T}{\pi}}\right)100\% \qquad (2.11)$$

Derajat konsolidasi > 60% dirumuskan dengan :

$$U = (100 - a)\% \qquad (2.12)$$

Dimana :

U = derajat konsolidasi

T = faktor waktu

$$a = 10\left(\frac{1.781-T}{0.933}\right)$$

Dengan menggunakan **Persamaan 2.11** dan **Persamaan 2.12**, variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.6**

Tabel 2.4 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi

Derajat Konsolidasi U%	Faktor Waktu T
0	0.000
10	0.008
20	0.031
30	0.071
40	0.126
50	0.196
60	0.283
70	0.403
80	0.567
90	0.848
100	-

sumber : Mochtar, 2012 dalam skripsi Muhammad Faisal

Pemampatan konsolidasi lapisan tanah dasar yang terjadi karena keluarnya air pori ke lapisan yang lebih porous, yaitu ke atas atau ke bawah saja (*single drainage*) atau ke atas dan ke bawah (*double drainage*). Waktu konsolidasi untuk *single drainage* dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$t = \frac{T\,(H_{dr})^2}{C_v} \times 100\% \qquad (2.13)$$

$$t = \frac{T\left(\frac{H_{(dr)}}{2}\right)^2}{C_v} \times 100\% \qquad (2.14)$$

Dimana :

t = waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemampatan konsolidasi.

T = faktor waktu.

H_{dr} = jarak air pori di lapisan tanah untuk mengalir keluar.

C_v = koefisien konsolidasi akibat aliran air pori arah vertical.

Untuk tanah yang berlapis-lapis dengan ketebalan yang berbeda-beda, harga Cv gabungan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{v_{\text{gabungan}}} = \frac{(H_1+H_2+\cdots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v_1}}}+\frac{H_2}{\sqrt{C_{v_2}}}+\cdots+\frac{H_n}{\sqrt{C_{v_n}}}\right)^2} \quad (2.15)$$

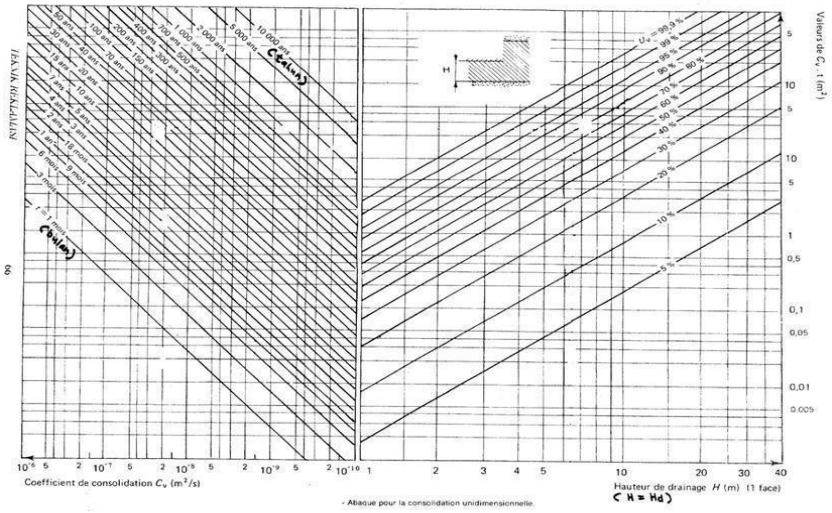
dimana:

$H_1, H_2, H_3,,..., H_n,$ = tebal lapisan tanah 1, 2, 3, ..., n

C_{v_1} , C_{v_2} , C_{v_3}, ..., C_{v_n} = besar koefisien konsolidasi lapisan tanah 1, 2, 3, ..., n

Derajat konsolidasi pada waktu t dapat dihitung dengan mencari besarnya faktor waktu T dengan menggunakan **Persamaan 2.13** maupun **2.14**. Lalu nilai faktor waktu dimasukkan ke dalam **Persamaan 2.11** atau **2.12.**

Waktu konsolidasi juga dapat dicari dengan menggunakan grafik hubungan antara C_v, t, U, dan H_{dr} (J.P BRU, 1983) pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.4 Korelasi Grafis Antara C_v, t, U, dan H_{dr}

(sumber : Teknik Reklamasi, 1997 dalam jurnal Wahyudi H)

2.3 Perencanaan Timbunan

2.3.1 Tinggi Timbunan Pelaksanaan (H_R) dan Tinggi Timbunan Rencana (H)

Tinggi timbunan pelaksanaan $(\mathrm{H_R})$ merupakan tinggi dimana tanah ditimbun saat pelaksanaan untuk mencapai tinggi timbunan rencana (H) sesuai dengan waktu yang direncanakan. Besarnya tinggi timbunan pelaksanaan tergantung dari besarnya pemampatan yang terjadi pada tanah dasar. $\mathrm{H_R}$ dan H dimodelkan pada **Gambar 2.5**. Tinggi timbunan pelaksanaan dapat dicari dengan menggunakan cara grafis dengan mencari titik perpotongan antara kurva $S_c$vs $\mathrm{H_R}$dan $\mathrm{H_R}$-H dan $\mathrm{H_R}$ sehingga berlaku persamaan :

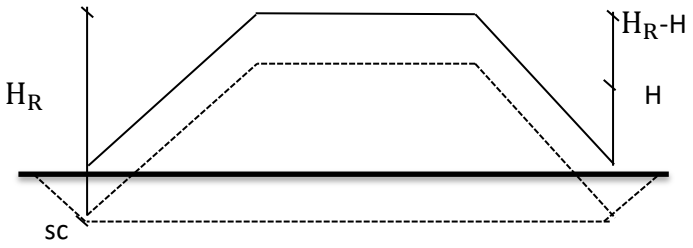
$$S_c = \mathrm{H_R} - \mathrm{H} \tag{2.16}$$

dimana:

S_c = besarnya pemampatan tanah dasar sesuai tinggi timbunan (H_R) (variabel)

H_R = tinggi timbunan pelaksanaan (variabel)

H = tinggi timbunan rencana (*fixed*)



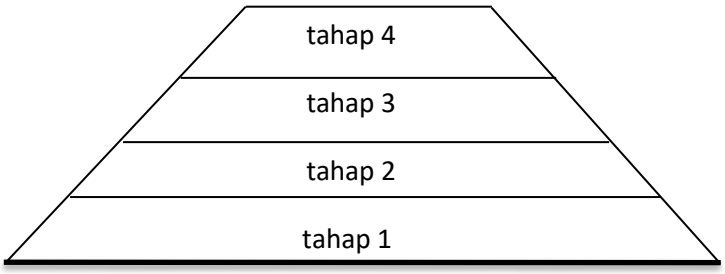
Gambar 2.5 Permodelan $\mathrm{H_R}$ dan H timbunan

2.3.2 Tinggi Timbunan Kritis (H_{cr})

Tinggi timbunan kritis adalah tinggi dimana stabilitas timbunan memiliki angka kemanan 1 atau saat timbunan akan mengalami kegagalan. H_{cr} dapat dicari dengan menggunakan software analisis geoteknik seperti *geostudio/Slope w* dengan tujuan mencari tinggi timbunan ketika SF (*Safety Factor*) = 1.

2.3.3 Timbunan Bertahap

Pelaksanaan timbunan dilakukan secara bertahap dalam jangka waktu tertentu dengan tinggi timbunan per tahapnya direncanakan. Setiap tahap ditimbun lalu dipantau perubahan stabilitas tanah dasarnya. Proses penahapan timbunan mempertimbangkan tinggi timbunan kritis (H_{cr}) untuk mencegah terjadinya kelongsoran. Pelaksanaan timbunan bertahap dapat dilaksanaan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Timbunan Bertahap

2.3.4 Distribusi dan Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap

Tegangan akan mengalami perubahan akibat adanya penahapan timbunan per minggu. Setiap tahap timbunan akan mendistribusikan tegangan yang berbeda-beda ke tanah dasar.

Perhitungan distribusi tegangan per tahap ($\Delta\sigma_n$') ketika derajat konsolidasi (U) = 100% menggunakan **Persamaan 2.1**.

Perubahan tegangan (σ_n') dapat dihitung dengan menambahkan distribusi tegangan per tahap ($\Delta\sigma_n$') pada tegangan sebelumnya seperti pada persamaan:

$$\sigma_n' = \sigma_{n-1}' + \Delta\sigma_n' \quad (2.17)$$

Untuk peninjauan penambahan tegangan yang berubah berdasarkan waktu umur tahapan timbunan masing-masing dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\Delta\sigma_{nU_i} = \left[\left(\frac{\sigma_n'}{\sigma_{n-1}}\right)^{u_i} \times \sigma_{n-1}\right] - \sigma_{n-1} \quad (2.18)$$

Dimana :

$\Delta\sigma_{nU_i}$ = penambahan tegangan akibat penahapan timbunan

ke-n berdasarkan derajat konsolidasi pada umur tahap timbunan ke-i (U_i).

σ_n' = tegangan total yang diterima akibat penahapan timbunan ke-n.

σ_n' = $\sigma_{n-1}' + \Delta\sigma_n$

U_i = derajat konsolidasi penahapan timbunan ke-n pada umur ke-i

2.3.5 Peningkatan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dasar dapat meningkat jika beban timbunan diletakkan secara bertahap sampai mencapai tinggi timbunan kritis (H_{cr}). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa vertikal efektif (σ_p'). Peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan dapat dihitung dengan persamaan berikut

Untuk harga *plasticity index*, PI tanah $< 120\%$:

$$C_u\ (kg/cm^2) = 0{,}0737 + \ [0{,}1899 - 0{,}0016PI] \times \sigma' \quad (2.19)$$

Untuk harga *plasticity index*, PI tanah ≥ 120% :

$$C_u(kg/cm^2) = 0{,}0737 + \ [0{,}0454 - 0{,}00004PI] \times \sigma' \quad (2.20)$$

dimana :

σ_o' = daya dukung tanah baru (kg/cm^2)

PI = indeks plastisitas tanah

σ' = tegangan yang terjadi pada lapisan tanah (kg/cm^2)

Untuk tanah yang sedang mengalami konsolidasi, harga σ_p' yang berubah sesuai dengan waktu. Secara umum harga σ_p' dapat dicari dengan cara berikut ini:

$$\sigma_p' = \left(\frac{P_o' + \Delta p'}{P_o'}\right)^U \times P_O' \quad (2.21)$$

Bila : U = 100% = 1, maka $\sigma_p' = P_O' + \Delta p'$

U < 100 %, maka $\sigma_p' < P_O' + \Delta p'$

Menghitung penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan dengan derajat konsolidasi (U) < 100 % dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut :

Tabel 2.5 Rumus Penambahan Tegangan Efektif U < 100 %

Tahap Penimbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi PVD U (%)	Δp pada U < 100%
Tanah Asli		100	
h1	4	U PVD 4 minggu	$\left\{\left(\frac{\sigma_1{}'}{P_O{}'}\right)^{U_4} \times P_O{}'\right\} - P_O{}'$
h2	3	U PVD 3 minggu	$\left\{\left(\frac{\sigma_2{}'}{\sigma_1{}'}\right)^{U_3} \times \sigma_1{}'\right\} - \sigma_1{}'$
h3	2	U PVD 2 minggu	$\left\{\left(\frac{\sigma_3{}'}{\sigma_2{}'}\right)^{U_2} \times \sigma_2{}'\right\} - \sigma_2{}'$
h4	4	U PVD 1 minggu	$\left\{\left(\frac{\sigma_4{}'}{\sigma_3{}'}\right)^{U_1} \times \sigma_3{}'\right\} - \sigma_3{}'$

Sumber : Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012 dalam skripsi Muhammad Faisal

2.3.6 Pemampatan Akibat Timbunan Bertahap

Timbunan yang diletakkan secara bertahap mempengaruhi persamaan – persamaan yang digunakan untuk menghitung besar pemempatan konsolidasi. Dalam perhitungan pemampatan konsolidasi disesuaikan dengan besar beban dan pemakaian nilai c_c dan c_s. Untuk menghitung pemampatan konsolidasi yang terjadi sesuai tahapan timbunan adalah :

Apabila $P_o' + \Delta P_1 \leq P_C$

$$S_c = \frac{C_s \times H}{1+ e_o} log \left(\frac{P_o' + \Delta p1}{P_o'}\right) \quad (2.22)$$

Apabila $P_o' + \Delta P_1 + \Delta P_2 \geq P_C$

$$S_c = \frac{C_s \times H}{1+ e_o} log \frac{P_C{}'}{P_O' + \Delta P1} + \frac{C_s \times H}{1+ e_o} log \left(\frac{P_O' + \Delta P1 + \Delta P2}{Pc'}\right) \quad (2.23)$$

Apabila (Po' + $\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3$)≥ Pc

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1 + e_o} \; log \left(\frac{P_O' + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3}{Po' + \Delta P_1 + \Delta P_2} \right) \quad (2.24)$$

Dimana :

S_c = besar pemampatan pada lapisan tanah yang ditinjau

H = tebal lapisan

C_c = indeks pemampatan (*compression index*)

C_s = indeks mengembang (*swelling index*)

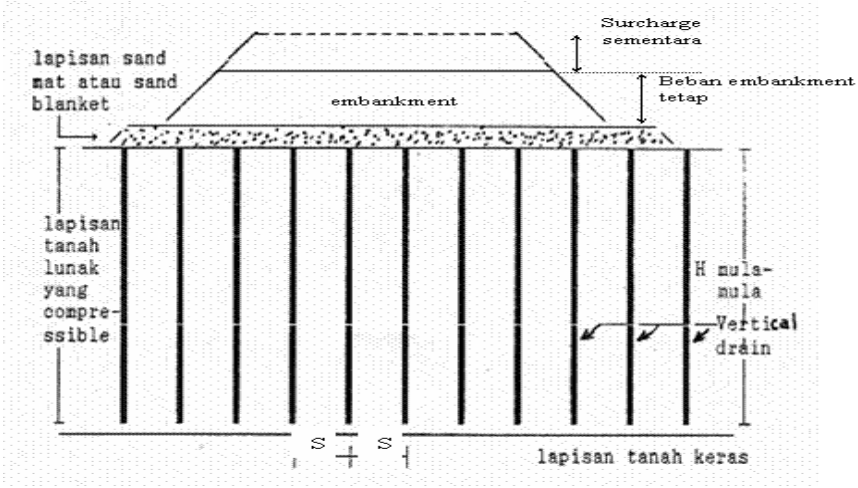
P_o' = tegangan efektif overbuden

Δp = penambahan tegangan akibat beban tahapan timbunan

e_o = angka pori tanah dasar

2.4 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Pemasangan *vertical drain* bertujuan untuk mempercepat waktu pemampatan. Hal ini dikarenakan pemampatan konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung berlangsung sangat lambat. Dengan adanya *vertical drain* maka air pori tanah tidak hanya mengalir keluar ke arah vertikal saja, tetapi juga ke arah horizontal seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**



Gambar 2.7 Penggunaan *Vertical Drain*

(sumber : Hansbo,1979 dalam skripsi Mufidatul Rochmah)

Salah satu jenis *vertical* drain adalah *Prefabricated Vertical* Drain (PVD). PVD terbuat dari bahan geosintetik yang diproduksi di pabrik. Bahan ini dapat mengalirkan air dengan baik, namun masa efektif kerja bahan ini hanya 6 bulan. PVD lebih umum dipakai di lapangan dibandingkan dengan kolom pasir karena kolom pasir pemasangannya jauh lebih rumit dan juga lebih mahal.

Waktu konsolidasi yang dibutuhkan dengan menggunakan *vertical drain* adalah :

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h}\right) x\, F(n) x \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right) \qquad (2.25)$$

dimana:

t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h

D = diameter ekivalen dari daerah pengaruh PVD

D = 1,13 x S, untuk pola susunan segiempat.

D = 1,05 x S, untuk pola susunan segitiga.

C_h = keofisien konsolidasi akibat aliran air arah radial.

U_h = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah radial Nilai.

C_h dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$C_h = \frac{k_h}{k_v} x c_v \quad (2.26)$$

Dimana :

c_v = koefisien konsolidasi

k_h = koefisien permeabilitas horizontal

k_v = koefisien permeabilitas vertical

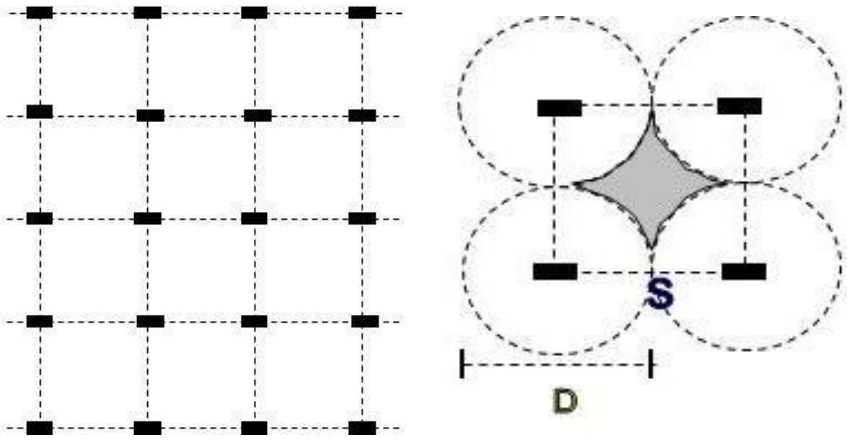
k_h/k_v dapat dicari menggunakan **Tabel 2.6**

Tabel 2.6 Nilai k_h/k_v

kh/kv	Karakteristik Tanah Lunak
1,2 $\pm$0,2	*no evidence of layering*
1 - 1,5	*no or only slightly developed macrofabic*
2 - 3	*slight layering*
2 - 4	*fairly well to well developed macrofabric*
3 - 15	*varved clays and other deposits containing embedded and more or less continous permeable layers*

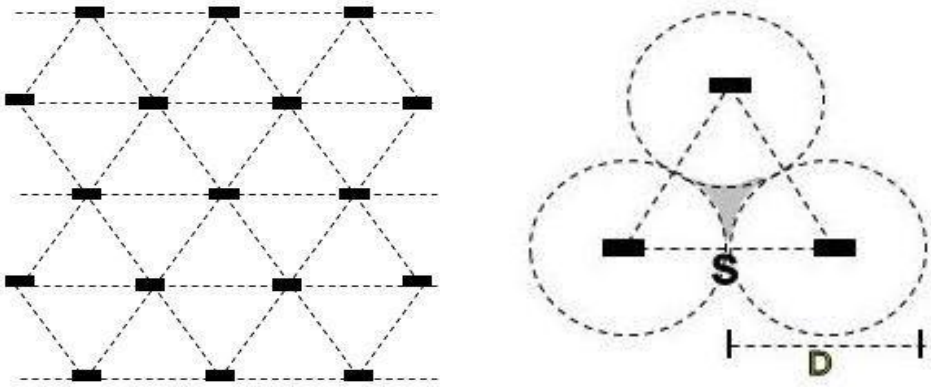
sumber : Barron, 1948 dalam skripsi Mufidatul Rochmah

Waktu konsolidasi dipengaruhi oleh pola pemasangan PVD. Pola pemasangan PVD dapat berbentuk segiempat maupun segitiga seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8** dan **Gambar 2.9**



Gambar 2.8 Pemasangan PVD Pola Segiempat

(sumber : Hansbo,1979 dalam skripsi Mufidatul Rochmah)



Gambar 2.9 Pemasangan PVD Pola Susunan Segitiga

(sumber : Hansbo,1979 dalam skripsi Mufidatul Rochmah)

Teori di atas dengan memasukkan dimensi fisik dan karakteristik dari PVD. Fungsi F(n) merupakan fungsi hambatan akibat jarak antar titik pusat PVD. Harga F(n) didefinisikan dengan :

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2}\right)\left[\ln(n) - \left(\frac{3n^2-1}{4n^2}\right)\right] \qquad (2.27)$$

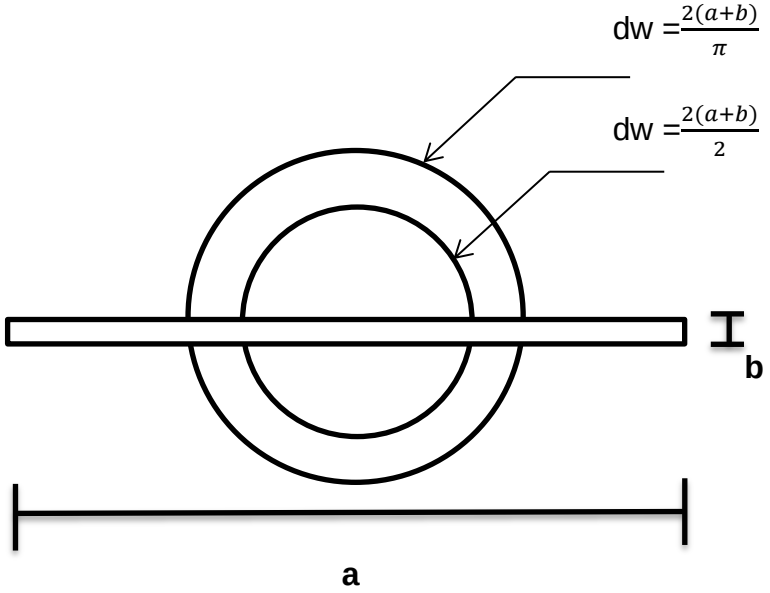
Atau

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2}\right)\left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4n^2}\right)\right] \quad (2.28)$$

Dimana :

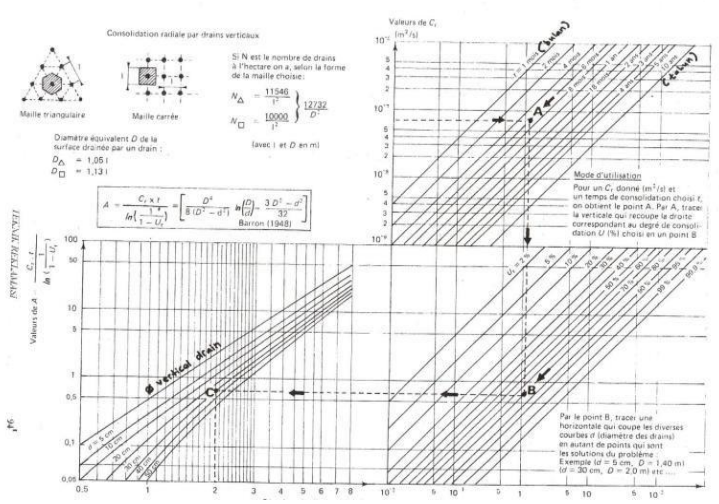
n = D/d_w

d_w = diameter ekivalen *vertical drain* seperti pada **gambar 2.10**



Gambar 2.10 Diameter lingkaran ekivalen pengaruh PVD

Jarak pemasangan PVD dapat direncanakan menggunakan metode grafis pada **Gambar 2.11** dengan menggunakan nilai C_h, waktu pemampatan dan derajat konsolidasi yang direncanakan, maka akan didapatkan diameter ekivalen pengaruh *vertical drain*.



Gambar 2.11 Mencari Diameter Pengaruh *Vertical Drain*

(sumber : Magnan, 1981 dalam skripsi Muhammad Faisal)

Setelah didapatkan nilai D, jarak pemasangan (s) dapat dicari dengan:

untuk pola segitiga, s = D/1,05

untuk pola segiempat, s = D/1,13

Dengan memasukkan harga t tertentu, dapat dicari harga u_h pada lapisan tanah yang dipasang PVD. Selain konsolidasi akibat aliran air pori arah horizontal, juga terjadi konsolidasi akibat aliran air pori arah vertikal u_v Harga u_v dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$T_v = \frac{t \; x \; c_v}{{H_{dr}}^2} \qquad (2.29)$$

Dimana :

T_v = faktor waktu

t = waktu yang dipilih

c_v = harga Cv tanah pada lapisan tanah setebal panjang PVD

H_{dr} = panjang PVD

2.5 Prefabricated Horizontal Drain (PHD)

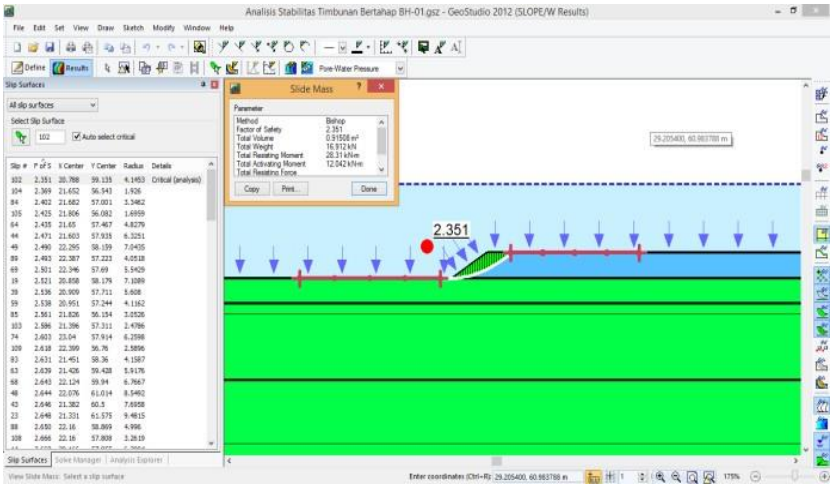
Prefabricated Horizontal Drain (PHD) berfungsi untuk mengalirkan air dari *vertical drain secaral horizontal* menuju ke saluran drainase. Dalam perencanaan penggunaan PHD dihitung angka keamanan dari debit yang mengalir melalui 1 PHD menggunakan spesifikasi dari PHD itu sendiri.

2.6 Software *Geostudio/GeoSlope W*

GeoSlope adalah *software* yang dibuat untuk analisis permodelan yang berhubungan dengan geotekenik. *GeoSlope* diprogramkan untuk menganalisis stabilitas dari lereng atau talud. *GeoSlope* memiliki beberapa subprogram, yaitu Slope/W, Seep/W, Sigma/W, Quake/W, Temp/W, dan Ctran/W. Subprogram tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda.

Pada tugas akhir ini digunakan subprogram Slope/W untuk melakukan analisis stabilitas lereng. Metode perhitungan yang digunakan pada Slope/W adalah metode Ordinary, Bishop, dan Janbu. Dengan menggunakan Slope/W, didapatkan keluaran seperti momen pendorong (Md), momen penahan (Mr), angka kemanaan terhadap kegagalan (SF), dan permodelan garis kelongsoran.

Software geostudio/geoSlope w akan digunakan untuk mencari garis kelongsoran dari permodelan timbunan pada tugas akhir ini yang hasilnya akan digunakan sebagai data perencanaan. Pada **gambar 2.12** salah satu contoh software *geostudio/geoSlope w* untuk permodelan timbunan.



Gambar 2.12 Permodelan Timbunan

2.7 Kerangka Pemikiran

Penelitian ini akan membahas timbunan rencana pada tanah lempung lunak dengan metode *preloading* adalah untuk mempercepat proses penurunan konsolidasi yang signifikan pada proyek pembangunan jalan tol Depok – Antasari tahap II ruas Brigif – Sawangan. Timbunan rencana pada tanah lempung lunak dilakukan untuk mengetahui besar dan lamanya waktu penurunan tanah metode *preloading* dengan dan tanpa menggunakan PVD. Analisi dilakukan menggunakan data SPT. Data tersebut kemudian dihitung manual dan dengan bantuan software *geostudio/geoSlope w.*