

PENGARUH *VERTICAL DRAINED GEOTEXTILE* DAN *SAND COLUMN* TERHADAP WAKTU CONSOLIDASI

Encu Sutarman

Fakultas Teknik, Program Studi Sipil
Universitas Langlangbuana
Jl. Karapitan 116, Bandung
e.sutarmancivil@gmail.com

Abstrak — Pekerjaan tanah berupa timbunan serta beban rencana dari lokasi pekerjaan itu tidak terlepas dengan permasalahan air yang terkandung didalamnya, tanah tersusun atas butir-butir tanah (skeleton), ukuran butir tanah akan membedakan tingkat permeabilitas yang dimiliki tanah itu. Kajian ini bermaksud untuk mendapatkan suatu informasi mengenai apa yang menjadi permasalahan tentang; settlement, waktu konsolidasi serta waktu percepatan dengan pemasangan *prefabricated vertical drain* (PVD) geotekstile maupun penggunaan sand column/ tiang pasir, hal ini yang menjadi latar belakang kajian ini. Parameter tanah berupa data SPT, sifat fisis tanah, batas-batas Atterberg tanah, metode pengambilan tanah asli (undisturbed) dengan cara melakukan pemboran di lokasi rencana konstruksi yang akan ditempatkan berlandaskan- ASTM D 1452, 1587, 1586. Kajian ini berdasarkan data bor log SPTBH6 B1, koefisien kompresi di tanah cohesive jenis lempung organik sedangkan koefisien konsolidasi berdasarkan formula Terzaghi dan Peck, 1976. Parameter tanah berdasarkan data lapangan pembangunan jalur kereta api Semarang-Grobogan pekerjaan menaikkan tinggi level jembatan dan jalur KAI akibat rob pantai utara di atas tanah lunak/ rawa-rawa dari pekerjaan PT KAI Jawa Tengah Tahun anggaran 2017 serta Dinamika Konsultan cv sebagai konsultan perencana pada bulan September 2017. Perbaikan tanah lunak yang tebal dilakukan dengan melakukan percepatan konsolidasi, hal ini dapat dicapai dengan penggunaan vertical dan horizontal drain berdasarkan teori konsolidasi radial dan polar Baron serta perhitungan peningkatan tekanan total $\Delta\sigma$ pada beban merata q pada bidang persegi, faktor pengaruh tekanan Fadum (1948). Daerah pengaruh drainase vertical tergantung konfigurasi pemasangan dari vertical drain, pada kajian ini konfigurasi berupa segi empat. Polythelane berbentuk persegi panjang dikonversi ke bentuk lingkaran untuk analisa sand column. Factor hambatan λ Yoshikuni (1990) merupakan fungsi dari permeabilitas k sehingga didapatkan faktor waktu terpasang vertical drain. Dari hasil kajian ini didapatkan besar settlement 2.07 m dengan waktu konsolidasi tanpa vertical drain selama 19.68 tahun sedangkan waktu konsolidasi terpasang PVD Geotextil menjadi 5.21 bulan dengan panjang geotextil 8 m dan konfigurasi pemasangan segi empat, jarak antar PVD sebesar 1.75 m sedangkan setelah terpasang Sand Column/ tiang pasir didapatkan waktu konsolidasi sebesar 4.65 bulan. hal ini dikarenakan geotextile maupun pasir memiliki nilai permeabilitas yang tinggi. Pasir sebagai vertical maupun horizontal drain dapat meningkatkan shear strength dari tanah sehingga daya dukung dari tanah akan meningkat. Penggunaan

geotextile dan pasir dapat dilakukan secara kombinasi dengan pemilihan konfigurasi pemasangan di lapangan. Geotextile sebagai horizontal drain (HD) harus diperhatikan jalur dan elevasinya agar maksimal dalam mengalirkan air ke arah samping.

Kata kunci — *Soil test, parameter tanah, metode analisis, empiris, bor log SPT, sisa tekanan, waktu konsolidasi, konsolidasi radial, konfigurasi, settlement, prefabricated vertical drain (PVD), prefabricated horizontal drain (PHD), geotextile, sand column, factor hambatan Yoshikuni, kompresi, permeabilitas.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Dan Permasalahan

Konsolidasi atau proses keluarnya air pori dari ruang pori akibat adanya beban di atas tanah dasar berupa timbunan dan beban konstruksi yang menyebabkan terjadinya settlement atau penurunan, hal ini merupakan permasalahan yang perlu mendapat perhatian.

Pekerjaan tanah berupa timbunan serta beban rencana dari lokasi pekerjaan itu tidak terlepas dengan permasalahan air yang terkandung didalamnya, kita ketahui bahwa tanah itu tersusun atas butir-butir tanah (skeleton), ukuran butir tanah akan membedakan tingkat permeabilitas yang dimiliki tanah itu.

Pekerjaan timbunan menyangkut permasalahan beban, konsolidasi serta settlement yang akan berpengaruh terhadap stabilitas konstruksi di atas timbunan, hal ini yang menjadi latar belakang kajian ini.

Jika pekerjaan konstruksi tidak mengindahkan settlement yang akan terjadi serta daya dukung dari tanah, hal ini akan menyebabkan kerugian materil baik pada saat berakhirnya konstruksi (end off construction) maupun pasca konstruksi serta jangka panjang. permasalahan ini perlu untuk ditanggulangi dengan safety factor yang memenuhi syarat keamanan konstruksi.

1.2. Maksud Kajian

Maksud kajian ini yaitu untuk mendapatkan suatu informasi mengenai apa yang menjadi permasalahan di atas tentang:

1. Settlement yang diakibatkan beban rencana.
2. Waktu konsolidasi.

1.3. Tujuan Kajian

Kajian ini untuk dapat menentukan besar settlement dan waktu konsolidasi alami serta waktu percepatan dengan pemasangan *prefabricated vertical drain*(PVD) geotekstil maupun penggunaan sand column/ tiang pasir sehingga dapat menentukan waktu selesainya proses settlement akibat beban rencana dari konstruksi.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Permeabilitas Tanah

Kemampuan fluida untuk mengalir melalui media yang porous merupakan sifat teknis yang disebut daya rembesan atau permeabilitas, dimana fluida hal ini air dan media porous merupakan massa tanah. Pada massa tanah alamiah yang mana ruang kosong antar butir (ruang pori) merupakan jalan yang dilalui air berupa rembesan, semakin kecil ruang pori maka semakin kecil pula rembesan yang terjadi. Permeabilitas dari jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 1. dibawah ini,

TABEL 1. NILAI TIPIKAL KOEFISIEN PERMEABILITAS

JENIS TANAH	KOEFISIEN PERMEABILITAS (mm/detik)
Lempung	$< 10^{-6}$
Lanau	$10^{-4} - 10^{-6}$
Pasir	$10 - 10^{-4}$
Kerikil	> 10

Sumber; Sengara, I Wayan, DR, Stabilitas Lereng, ITB '2000

2.2. Penurunan

Penurunan yang terjadi merupakan perubahan regangan sepanjang kedalaman. Penurunan (Settlement) terjadi jika material tanah menerima beban diatasnya. Settlement didefinisikan sbb;

$$\Delta H = \int \epsilon \, dH$$

$$\epsilon = \Delta H / H \text{ atau } \epsilon = \sigma / E_s$$

Dimana:
 ϵ : regangan ΔH : settlement
 σ : tegangan E_s : modulus elastisitas tanah

Settlement terbagi atas:

- a. Penurunan langsung (ΔH_L) atau short term
- b. Penurunan Konsolidasi (ΔH_c) atau long term
- c. Penurunan Rangkak (ΔH_{Creep}) atau long term

2.2.1. Total Penurunan (ΔH)

$$(\Delta H) = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta \sigma_v'}{\sigma_{v0}'} \right)$$

a. Hubungan antara c_c dan m_v

$$m_v \Delta \sigma_v' \cdot H = \frac{C_c}{1+e_0} H \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta \sigma_v'}{\sigma_{v0}'} \right)$$

$$C_c = \frac{m_v \Delta \sigma_v' (1 + e_0)}{\log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta \sigma_v'}{\sigma_{v0}'} \right)}$$

b. Hubungan antara m_v dan a_v

$$m_v = \Delta e / \Delta p \text{ atau } m_v = 1/E \text{ dan } E = \Delta p / \Delta e$$

$$m_v = a_v / (1 + e_0)$$

Dimana;
 ΔH : Settlement
 C_c : Indek Kompresi
 C_v : Indek Muai
 e_0 : Angka pori mula – mula
 $\Delta \sigma_v'$: Penambahan beban akibat beban luar
 σ_v' : Tekanan overburden tanah efektif
 p_c : Tekanan praconsolidasi
 m_v : Koefisien kompresi volume tanah
 a_v : koefisien tekanan

2.2.2. Indek Tekanan (c_c)

Indek tekanan atau indik kompresi diusulkan Azzouz, 1976 sbb;

- a. Tanah tidak organis, lanau, lempung dan lempung berlanau ;
 $c_c = 0.3(e_0 - 0.27)$
- b. Tanah organis, gambut, lempung dan lempung organis;
 $c_c = 0.0115w_n$

Dimana;
 w_n : kadar air natural/lapangan

2.2.3. Koefisien Konsolidasi

c_v untuk type tanah dengan $IP > 25$ mempunyai c_v : 0.1 – 1 m²/tahun

Terzaghi dan Peck (1976) dari terdahulunya Skempton mengusulkan;
 $c_v = 0.009(w_L - 10\%)$

Nilai c_c bervariasi tergantung jenis dan kondisi tanah di lapangan.

2.2.4. Waktu Konsolidasi (t_i)

Lamanya proses terjadinya konsolidasi yang berakibat pada terjadinya settlement ditentukan dengan diketahuinya c_v (Lab), t diambil pada saat konsolidasi mencapai 50%, sehingga waktu yang digunakannya adalah t_{50} .

$$c_v = k / (m_v \gamma_w) = k(1 + e) / (a_v \gamma_w)$$

Maka $t_i = TH^2 / c_v$

2.2.5. Derajat Konsolidasi (U)

$U = \sqrt{T/\pi}$
 Dimana :
 T : merupakan faktor waktu
 t_i : lamanya proses konsolidasi

Hubungan antara derajat konsolidasi U terhadap factor waktu ditunjukkan oleh Tabel 2.

TABEL 2. HUBUNGAN PROSENTASI KONSOLIDASI TERHADAP WAKTU

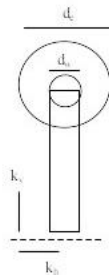
U	T
00	0.000
10	0.008
20	0.031
30	0.071

40	0.126
50	0.197
60	0.287
70	0.403
80	0.567
90	0.848
100	∞

2.3. Drainase Vertical

Perbaikan tanah lunak yang tebal dapat dilakukan dengan melakukan percepatan konsolidasi, hal ini dapat dicapai dengan penggunaan vertical drain atau drainase tegak setebal lapisan lunak dengan maksud agar mempercepat pengeluaran air pori dan stabilitas dari tanah tersebut lebih cepat tercapai.

Metoda vertical drain berdasarkan teori konsolidasi radial dan polar Baron ditunjukkan oleh Gambar 1. di bawah ini;



Gambar 1. Consolidasi radial dan polar

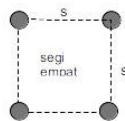
d_e : daerah pengaruh drainase vertical
 d_w : diameter drain

Besarnya d_e tergantung konfigurasi pemasangan dari vertical drain;

$d_e = 1.128 s$ untuk konfigurasi segi empat
 $d_e = 1.050 s$ untuk konfigurasi segi tiga.

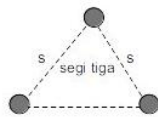
2.3.1. Konfigurasi pemasangan vertical drain:

a. Segi empat



Gambar 2. Konfigurasi segi empat

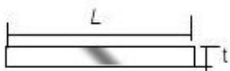
b. Segi tiga



Gambar 3. Konfigurasi segi tiga

2.3.2. Jenis Vertical Drain (VD)

- a. VD Sand Column/ Tiang pasir.
- b. Polythelene berbentuk persegi panjang dikonsersersi ke lingkaran:



$$d_w = 2(L + t) / \pi$$

Dengan dipasangnya vertical drain, derajat konsolidasi menjadi:

$$U = 1 - e^{-8 T_h / (F_n + 0.8\lambda)}$$

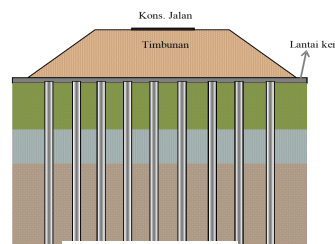
$$F_n = [n^2 / (n^2 - 1)] \ln n - [3n^2 - 1] / 4n^2$$

$$n = d_e / d_w$$

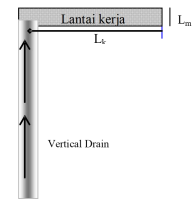
$$\lambda = \frac{32 L k_c}{\pi^2 n^2 L_m k} \left(\frac{L_x}{d_w} \right)^2$$

Factor hambat λ Yoshikuni (1990) merupakan fungsi dari permeabilitas k. Koefisien permeabilitas k geotekstil sebesar $1,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

Gambar 4 dibawah ini merupakan timbunan dengan pemasangan vertical drain;



Gambar 4a



Gambar 4b

Gambar 4. Timbunan dengan pemasangan VD

Gambar 4a ; Timbunan dan tanah dasar
 Gambar 4b ; Sket VD

Dimana;

- n : rasio d_e terhadap d_w
- L : tinggi tiang vertical drain
- L_m : tinggi lantai kerja
- k_c : koef. vertical drain
- k_s : koef. permeabilitas tanah
- λ : faktor hambat, teori Yoshikuni, 1990
- e : bilangan e (≈ 2.7183)
- d_w : diameter vertical drain
- T_h : faktor waktu vertical drain
- L_x : jarak dari vertical drain ke rembesan
- F_n : koefisien pengaruh rembesan

2.3.3. Faktor waktu dengan terpasangnya vertical drain

$$T_h = c_{vr} t / d_e^2$$

$$t = T_h r_e^2 / c_{vr}$$

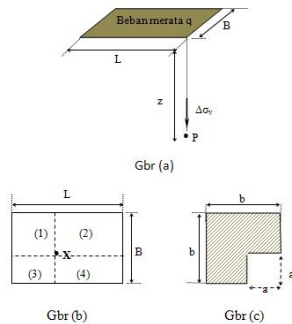
$$c_{vr} = k_h(1 + e_0) / a_v \gamma_w$$

Recall dari pers. a_v Terzaghi.

$$a_v = k_h(1 + e_0) / c_v \gamma_w$$

2.4. Tekanan akibat beban merata pada bidang persegi

Dalam permasalahan ini untuk menyelesaikan peningkatan tekanan total $\Delta\sigma$ pada titik P pada salah satu sudut beban merata q berupa bidang persegi; $\Delta\sigma_v = \Delta\sigma_{v0} I_\sigma$
 Hal ini diperlihatkan oleh Gambar 5;



Gambar 5. Beban merata pada bidang persegi

I_σ merupakan faktor pengaruh tekanan yang disebabkan beban merata bidang persegi dengan panjang L, lebar B berjarak z terhadap titik P.

I_σ berupa parameter $m = B/z$ dan $n = L/z$ yang dinyatakan Fadum (1948).

Penambahan tekanan $\Delta\sigma$ pada titik ujung pelat, sehingga kita dapat menghitung tekanan tanah pada suatu titik tertentu akibat beban merata berupa bidang persegi. Andaikan kita hitung penambahan tekanan $\Delta\sigma$ dibawah titik X, dengan bidang L x B yaitu;

$$\Delta\sigma_v = \Delta\sigma_{v(bid\ 1)} + \Delta\sigma_{v(bid\ 2)} + \Delta\sigma_{v(bid\ 3)} + \Delta\sigma_{v(bid\ 4)}$$

Sedangkan di bawah titik Y Gambar 6, penambahan tekanan $\Delta\sigma_v$ dengan bidang beban ditunjukkan oleh daerah diarsir, maka;

$$\Delta\sigma_v = \Delta\sigma_{v(bid\ b \times b)} - \Delta\sigma_{v(bid\ a \times a)}$$

Metoda Numerik untuk pemecahan persamaan Bousinesq; Alas bujur sangkar atau persegi panjang di bagi ke dalam luas bujur sangkar kecil dengan sisi a sehingga dihasilkan seri muatan titik, gunakan ukuran sisi a pada besaran 0,3m x 0,3m (1ft x 1 ft) atau lebih kecil.

Alas bulat dikonversi ke bujur sangkar serta sebagai $B = \sqrt{\pi r^2}$. Masukkan koordinat x, y dan z untuk lokasi pertama di atas dengan garis profil tekanan vertical, dan pertambahan – pertambahan ke dalam dz, kemudian alas serta banyaknya bujur sangkar yang paralel dan tegak lurus terhadap sb x dan sb y.

- Hitung $Q = a^2\sigma_{v0}$, yang mana tegangan keseluruhan σ_v merupakan jumlah dari semua luas satuan penyusun pondasi itu.
- Koordinat z ditingkatkan bertahap menjadi $z_1 = z + dz$

Metoda lain yang dapat diterapkan yaitu metoda Numerik (1935) yang lazim ditemukan dalam bagan Fadum (1948). Persamaan yang diberikan Numerik dapat diterapkan di bawah sudut dari luas B x L yaitu;

$$\Delta\sigma_v = \sigma_{v0} \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{v}}{v+\sqrt{v_1}} \cdot \frac{v+1}{v} + \tan^{-1} \left(\frac{2mn\sqrt{v}}{v-\sqrt{v_1}} \right) \right]$$

Maka faktor pengaruh I_σ yaitu;
 Dimana ;

$$I_\sigma = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{v}}{v+\sqrt{v_1}} \cdot \frac{v+1}{v} + \tan^{-1} \left(\frac{2mn\sqrt{v}}{v-\sqrt{v_1}} \right) \right]$$

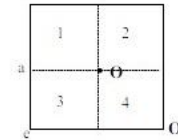
$$m = B/z \text{ dan } n = L/z$$

($\sigma = \sigma_0$ jika $z = 0$, atau di permukaan tanah)

$$v = m^2 + n^2 + 1 \text{ dan } v_1 = (m \ n)^2$$

Apabila $v_1 > v$ maka \tan^{-1} itu negatif (-) dan perlu menambahkan π .

Tegangan vertical pada sembarang kedalaman z dapat diperoleh dalam jarak yang wajar sampai di bawah alas seperti ditunjukkan pada Gambar 6;



Gambar 6. Beban merata di pelat persegi

Pada Gambar ini daerah beban berupa bujur sangkar = $O'ebd$.

Tegangan di titik O = 4 x $Oabc = 4 \times \Delta\sigma_{v(bid\ 1)}$

Tegangan di titik O' = $O'ebd$

$$O' = \Delta\sigma_{v(bid\ 1)} + \Delta\sigma_{v(bid\ 2)} + \Delta\sigma_{v(bid\ 3)} + \Delta\sigma_{v(bid\ 4)}$$

TABEL 3. FAKTOR PENGARUH PEMBEBANAN (Fadum,1948)

m \ n	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,1	0,005	0,009	0,013	0,017	0,020	0,022	0,024	0,026	0,027	0,028
0,2	0,009	0,018	0,026	0,033	0,039	0,043	0,047	0,050	0,053	0,055
0,3	0,013	0,026	0,037	0,047	0,056	0,063	0,069	0,073	0,077	0,079
0,4	0,017	0,033	0,047	0,060	0,071	0,080	0,087	0,093	0,098	0,101
0,5	0,020	0,039	0,056	0,071	0,084	0,095	0,103	0,110	0,116	0,120
0,6	0,022	0,043	0,063	0,080	0,095	0,107	0,117	0,125	0,131	0,136
0,7	0,024	0,047	0,069	0,087	0,103	0,117	0,128	0,137	0,144	0,149
0,8	0,026	0,050	0,073	0,093	0,110	0,125	0,137	0,146	0,154	0,160
0,9	0,027	0,053	0,077	0,098	0,116	0,131	0,144	0,154	0,162	0,168
1,0	0,028	0,055	0,079	0,101	0,120	0,136	0,149	0,160	0,168	0,175
1,1	0,029	0,043	0,063	0,080	0,095	0,107	0,117	0,125	0,131	0,136
1,2	0,029	0,047	0,069	0,087	0,103	0,117	0,128	0,137	0,144	0,149
1,3	0,030	0,050	0,073	0,093	0,110	0,125	0,137	0,146	0,151	0,160
1,4	0,030	0,053	0,077	0,098	0,116	0,131	0,144	0,154	0,162	0,168
1,5	0,030	0,055	0,079	0,101	0,120	0,136	0,149	0,160	0,168	0,175
2,0	0,031	0,061	0,089	0,113	0,135	0,153	0,169	0,181	0,192	0,200
2,5	0,031	0,062	0,089	0,114	0,136	0,155	0,170	0,183	0,194	0,202
3,0	0,031	0,062	0,090	0,115	0,137	0,155	0,171	0,184	0,195	0,203
5,0	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,172	0,185	0,196	0,204
10,0	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,172	0,185	0,196	0,205

Lanjutan TABEL 3

m \ n	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	2,00	2,50	3,00	5,00	10,00
0,1	0,029	0,029	0,030	0,030	0,030	0,031	0,031	0,031	0,032	0,032
0,2	0,056	0,057	0,058	0,059	0,059	0,061	0,062	0,062	0,062	0,062
0,3	0,082	0,083	0,085	0,086	0,086	0,089	0,089	0,090	0,090	0,090
0,4	0,104	0,106	0,108	0,109	0,110	0,113	0,114	0,115	0,115	0,115
0,5	0,124	0,126	0,128	0,130	0,131	0,135	0,136	0,137	0,137	0,137
0,6	0,140	0,143	0,146	0,147	0,149	0,153	0,155	0,155	0,156	0,156
0,7	0,154	0,157	0,160	0,162	0,164	0,169	0,170	0,171	0,172	0,172
0,8	0,165	0,168	0,171	0,174	0,176	0,181	0,183	0,184	0,185	0,185
0,9	0,174	0,178	0,181	0,184	0,186	0,192	0,194	0,195	0,196	0,196
1,0	0,181	0,185	0,189	0,191	0,194	0,200	0,202	0,203	0,204	0,205
1,1	0,186	0,191	0,195	0,198	0,200	0,207	0,209	0,211	0,212	0,212
1,2	0,191	0,196	0,200	0,203	0,205	0,212	0,215	0,216	0,217	0,218
1,3	0,195	0,200	0,204	0,208	0,209	0,217	0,220	0,221	0,222	0,223
1,4	0,198	0,203	0,207	0,210	0,213	0,221	0,224	0,225	0,226	0,227
1,5	0,200	0,205	0,208	0,213	0,216	0,224	0,227	0,228	0,230	0,230
2,0	0,207	0,212	0,217	0,221	0,224	0,232	0,236	0,238	0,240	0,240
2,5	0,209	0,215	0,220	0,224	0,227	0,236	0,240	0,242	0,244	0,244
3,0	0,211	0,216	0,221	0,225	0,228	0,238	0,242	0,244	0,246	0,247
5,0	0,212	0,217	0,222	0,226	0,230	0,240	0,244	0,246	0,249	0,249
10,0	0,212	0,218	0,223	0,227	0,230	0,240	0,244	0,247	0,249	0,250

3. METODOLOGI PENELITIAN

Data parameter tanah berdasarkan insvestigasi lapangan serta sumber terkait dalam perencanaan serta pelaksanaan konstruksi, berdasarkan hasil test di Laboratorium mektan serta data-data yang sudah ada tentang parameter tanah pada instansi terkait.

Penelitian geoteknik dari tanah tersebut untuk dapat menentukan dan mengetahui;

1. Settlement natural akibat beban.
2. Waktu konsolidasi natural.
3. Sisa tegangan akibat beban berupa timbunan.
4. Panjang PVD geotextile.
5. Waktu konsolidasi setelah terpasang vertical drain Sand Column/ Tiang Pasir.
6. Panjang vertical drain Sand Column/ Tiang Pasir.
7. Waktu konsolidasi setelah terpasang vertical drain Sand Column/Tiang Pasir.

3.1. Pengambilan Data Parameter Tanah

Metode pengambilan informasi pendahuluan dari data SPT yang dilengkapi bor log, sifat fisis tanah, batas-batas Atterberg tanah. Pengambilan tanah asli (undistrubed) dengan cara melakukan pemboran di lokasi rencana konstruksi yang akan ditempatkan.

1. Metode pengambilan tanah asli

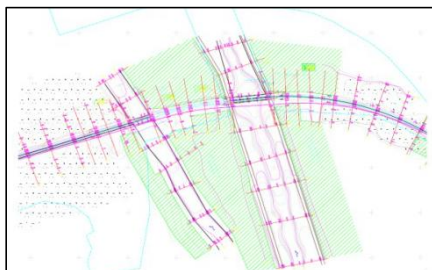
Pengambilan tanah asli dengan cara melakukan pemboran di titik lokasi serta masing-masing kedalaman untuk satu titik lokasi bor dan tanah pada bidang gelincir antara tanah dan batuan berlandaskan - ASTM D 1452, 1587, 1586.

Data tersebut antara lain;

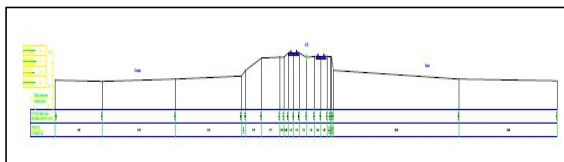
- a. Sifat fisis tanah.
- b. Parameter kuat geser tanah (ϕ dan c).
- c. Indek kompresi c_c , indek muai c_v .
- d. Ketebalan lapisan tanah dasar.
- e. Muka air tanah.
- f. Batas – batas Atterberg (Konsistensi).
- g. Koefisien permeabilitas.

2. Lokasi Pengambilan Data

Kajian ini berdasarkan data lapangan pembangunan jalur Kereta Api Semarang-Grobogan Jawa Tengah, berdasarkan insvestigasi lapangan serta sumber terkait dari Dinamika Konsultan cv sebagai konsultan perencanaan pada bulan September 2017 tahun anggaran 2017.



Gambar 7. Lokasi BH 5 dan BH 6 (Topografi)



Gambar 8. Cross section timbunan rawa

3.2. Analisa Data

Perhitungan-perhitungan tersebut antara lain :

1. Karakteristik serta consistensi dari tanah berdasarkan SPT.
2. Undrained shear strength korelasi dari SPT.
3. Tegangan vertical efektif tanah.
4. Sisa tegangan akibat beban merata pada bidang.
5. Settlement natural akibat beban.
6. Waktu konsolidasi natural.
5. Waktu konsolidasi setelah terpasang vertical drain Sand Column/ Tiang Pasir.
7. Waktu konsolidasi setelah terpasang vertical drain Sand Column/Tiang Pasir.

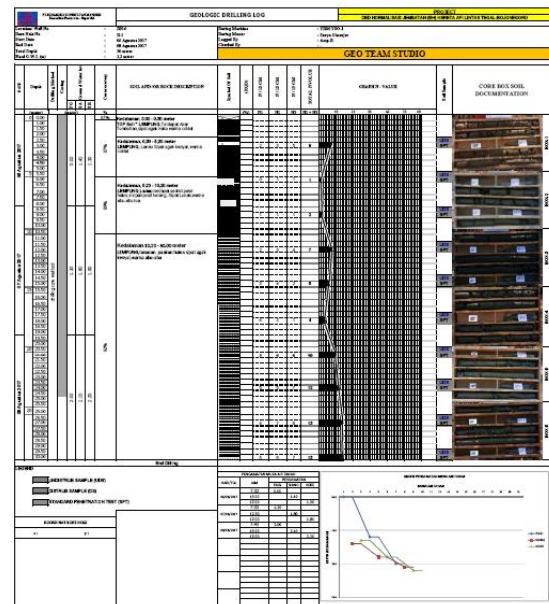
3.3. Pengujian

Pengujian berdasarkan test lapangan *standard penetration test (SPT)* dan hasil uji laboratorium mektan.

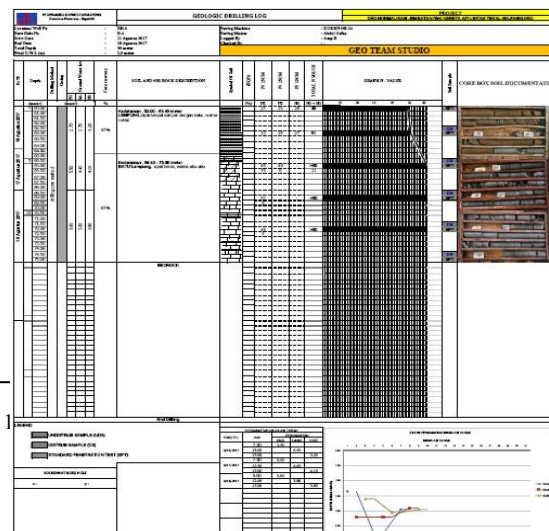
3.4. Data Kajian

1. Parameter Tanah Dasar

Parameter tanah berdasarkan data bor log SPTBH6 B1 serta berdasarkan hasil uji laboratorium mektan. Bor log diperlihatkan Gambar 9, 10 dan Tabel 4 dan hasil uji Laboratorium ditunjukkan oleh Tabel 5 dan Tabel 6.



Gambar 9. Bor log BH6 B1



Gambar 10. Bor log BH6 B1 60 sd 75 m

TABEL 4. NSPT DAN UNDRAINED SHEAR STRENGTH

Bor Hole : BH6 B1
 Depth : 0 – 32 m
 Lokasi : Jalur Kereta Api Semarang – Grobogan

Kedalaman (m)	NSPT	c _u (kPa)
0.0	0	0
2.0	8	20
4.0	8	20
6.0	2	5
8.0	2	5
10.0	4	10
12.0	7	18
14.0	7	18
16.0	5	13
18.0	4	10
20.0	10	25
22.0	11	28
24.0	12	30
26.0	13	33
28.0	13	33
30.0	13	33
32.0	13	33

TABEL 5. PARAMETER TANAH DASAR

Bor Hole : BH6 B1
 Depth : 9.5 – 10 m
 Lokasi : Jalur Kereta Api Semarang – Grobogan

Jenis Parameter	Notasi	Satuan	Nilai Parameter
Unit berat Jenuh	γ_{sat}	kN/m ³	14
Kadar air	w	%	80
Unit berat kering	γ_{dry}	kN/m ³	12
Kohesi	c	kPa	50
Sudut geser dalam	(^o)	deg	10
Angka pori	e	-	1
Koefisien kompresi	c _c	-	0.92
Koefisien konsolidasi	c _v	m ² /detik	0.0000546
Permeabilitas	k _x	m/detik	0.000001
Permeabilitas	k _y	m/detik	0.000001

TABEL 6. PARAMETER TANAH DASAR

Bor Hole : BH6 B1
 Depth : 19.5 – 20 m
 Lokasi : Jalur Kereta Api Semarang – Grobogan

Jenis Parameter	Notasi	Satuan	Nilai Parameter
Unit berat Jenuh	γ_{sat}	kN/m ³	16
Kadar air	w	%	70
Unit berat kering	γ_{dry}	kN/m ³	12.5
Kohesi	c	kPa	40
Sudut geser dalam	(^o)	deg	15
Angka pori	e	-	1.5
Koefisien kompresi	c _c	-	0.369
Koefisien konsolidasi	c _v	m ² /detik	0.0000015
Permeabilitas	k _x	m/detik	0.000001
Permeabilitas	k _y	m/detik	0.000001

TABEL 7. PARAMETER TANAH DASAR

Bor Hole : BH6 B1
 Depth : 29.5 – 30 m
 Lokasi : Jalur Kereta Api Semarang – Grobogan

Jenis Parameter	Notasi	Satuan	Nilai Parameter
Unit berat Jenuh	γ_{sat}	kN/m ³	17
Kadar air	w	%	65
Unit berat kering	γ_{dry}	kN/m ³	14
Kohesi	c	kPa	35
Sudut geser dalam	(^o)	deg	17
Angka pori	e	-	1.2
Koefisien kompresi	c _c	-	0.279
Koefisien konsolidasi	c _v	m ² /detik	0.0000007
Permeabilitas	k _x	m/detik	0.0000015
Permeabilitas	k _y	m/detik	0.0000015

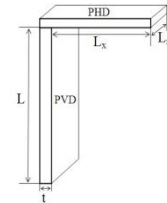
TABEL 8. PARAMETER TANAH TIMBUNAN

Tinggi Timbunan : 2 m
 Lokasi : Jalur Kereta Api Semarang – Grobogan

Tebal Timbunan H (m)	ϕ (^o)	γ_{sat} kN/m ³	c kPa	γ_{dry} kN/m ³	γ_w kN/m ³
1.5	20	17.5	35	14	9.8
0.5	30	19.0	20	17	9.8

2. Vertical Drained

Vertical drained menggunakan geotextil, sket seperti pada Gambar 11;



Gambar 11. SKET PVD dan PHD

Configurasi Segi empat

$$d_c = 1.128s$$

$$d_w = 2(L_m + t)/\pi$$

$$n = d_c/d_w$$

TABEL 9. PARAMETER GEOTEXTILE

s (m)	d _c (m)	L _m (m)	t (m)	d _w (m)	n	r _c (m)	Permeabilitas k (m/detik)
1.7	1.974	0.1	0.01	0.07	28.17	0.99	0.0015
5							

Gambar 12, 13, 14 dan Gambar 15, gambaran tentang PVD Geotextile (gambar diambil dari proyek pembangunan Gelora Bandung Lautan Api (GBLA) Bandung.



Gambar 12. Mobilisasi PVD Geotextile



Gambar 13. Alat Pemasangan Geotextile



Gambar 14. Pemasangan Geotextile



Gambar 15. Geotextile Terpasang

$$\begin{aligned} \gamma_w &= 9,8 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sub}} &= 8,82 \text{ kN/m}^3 \\ \sigma_{v0}' &= \gamma_{\text{sub}} H_{\text{timb}} = 8,82 \cdot 0,5 = 4,41 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{v0}' &= 4.41 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Jadi tegangan akibat timbunan;
 $\sigma_{v0}' = 15.44 \text{ kN/m}^2$

Tegangan persis dibawah timbunan;
 luas (A) = 1m²
 $F_{\text{timb}} = 15.4 \text{ kN}$
 $F_{\text{luar}} = 400 \text{ kN}$
 $\sigma_{\text{luar}} = F_{\text{luar}} / A = 400 \text{ kN/m}^2$
 $\sum \sigma_{v0}' = \sigma_{\text{luar}} + \sigma_{v0}' = 415.44 \text{ kN/m}^2$

Lapisan 1 tanah dasar;
 $\sum \sigma_v' = 39.2 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} z &= 10 \text{ m} & B' &= 0.5 \text{ m} & L' &= 0.5 \text{ m} \\ m &= B/z = 0,05 & n &= L/z = 0,05 & v &= 1,005 \\ v_1 &= 0,0000063 \end{aligned}$$

$$I_\sigma = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{v}}{v+v_1} \cdot \frac{v+1}{v} + \tan^{-1} \left(\frac{2mn\sqrt{v}}{v-v_1} \right) \right]$$

$$I_\sigma = \frac{1}{4,3,14} \left[\frac{2 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \sqrt{1,005}}{1,005 + 6,3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,005 + 1}{1,005} + \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \sqrt{1,005}}{1,005 - 6,3 \cdot 10^{-3}} \right) \right]$$

$$I_\sigma = 0,00119$$

maka indeks tegangan; $I_\sigma = 0,00119$
 sehingga tegangan dikedalaman 10 m akibat beban luar $F = 400 \text{ kN}$ dan beban akibat timbunan $q = 15,44 \text{ kN/m}^2$, sebesar;
 $\Delta \sigma_v' = 4 I_\sigma \sum \sigma_{v0}' = 4 \cdot 0,00119 \cdot 415,44 = 1,98 \text{ kN/m}^2$

- H : Tebal lapisan tanah dasar
- $\Delta \sigma_v'$: Perubahan tegangan
- I_s : Indeks settlement
- S : Settlement
- I_σ : indeks tegangan

$$I_s = c_c / (1 + e)$$

Settlement dan Waktu Consolidasi Natural

TABEL 10. TEGANGAN AKIBAT TIMBUNAN

H _{timb} (m)	σ_{v0}' (kN/m ²)
1.5	11.03
0.50	4.41
	15.44

$$\begin{aligned} B &= 1 \text{ m} & L &= 1 \text{ m} \\ B' &= 0.5 \text{ m} & L' &= 0.5 \text{ m} \end{aligned}$$

TABEL 11. INDEKS TEGANGAN AKIBAT TIMBUNAN PADA KEDALAMAN Z

Z (m)	m	n	v	v ₁	I _σ
10.0	0.050	0.050	1.005	0.0000063	0.00119
20.0	0.025	0.025	1.001	0.0000004	0.00030
30.0	0.017	0.017	1.001	0.0000001	0.00013
40.0	0.013	0.013	1.000	0.00000002	0.00007
50.0	0.010	0.010	1.000	0.00000001	0.00005

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan dan Analisa

$$H_{\text{timb}} = 1,5 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 17,15 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sub}} = 7,35 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_{v0}' = \gamma_{\text{sub}} H_{\text{timb}} = 7,35 \cdot 1,5 = 11,03 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v0}' = 11.03 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{\text{timb}} = 0.5 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 18,62 \text{ kN/m}^3$$

z : kedalaman di ujung pondasi dalam m

Sisa Tegangan $\Delta\sigma'_v$ (kPa)

$\Delta\sigma'_v = 415.4$ kPa di $z = 0$ m

TABEL 12. SETTLEMENT AKIBAT BEBAN DAN TIMBUNAN

z m	$\Delta\sigma'_v$ kPa	σ'_v kPa	$\sum\sigma'_v + \Delta\sigma'_v$ kPa	Indeks Settlement	Settlement m
10	1.98	39.20	41.18	0.460	0.10
20	0.50	58.80	98.50	0.148	0.33
30	0.22	68.60	166.82	0.127	0.49
40	0.12	73.50	240.22	0.119	0.61
50	0.08	78.40	318.58	0.088	0.54
					2.07

Waktu Consolidasi Natural

$$c_v = k_v(1 + e) / \gamma_{wa}v$$

$$t = TH^2/c_v$$

Faktor waktu T dengan derajat konsolidasi $U = 90\%$,
 $T = 0.848$

TABEL 13. WAKTU CONSOLIDASI NATURAL

z (m)	Koef Consolidasi c_v (m ² /detik)	Waktu (t) (tahun)
10	0.0000205	0.13
20	0.0000015	1.78
30	0.0000007	3.96
40	0.0000004	6.57
50	0.0000004	7.24
		19.68

PVD Geotextile

Tanah Dasar Lapisan 1, Panjang PVD geotextile $L = 8$ m

$S = 0,10$ m

$$m_v = S / (H \Delta\sigma'_{v0}) = 0,005 \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$a_v = m_v(1+e) = 0,010 \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$c_v = k_v(1 + e) / (\gamma_{wa}v) = 0,0000546 \text{ m}^2/\text{detik}$$

$$U = 1 - e^{-8 T_h / (F_n + 0.8\lambda)}$$

$$n = d_c/d_w = 1,972/0,07 = 28,17$$

$$F_n = [n^2 / (n^2 - 1)] \ln n - [3n^2 - 1] / 4n^2$$

$$F_n = [28,17^2 / (28,17^2 - 1)] \ln 28,17 - [3 \cdot 28,17^2 - 1] / 4 \cdot 28,17^2 = 2,593$$

$U = 90\%$

$$T_h = [(F_n + 0.82)(\ln U - \ln 1)] / 8 \ln e$$

$$T_h = [(2,593 + 0.82)(\ln 0.90 - \ln 1)] / 8 \ln 2,72 = 1,92$$

permeabilitas vertical tanah (k_v) = 0,000001 m/det
 permeabilitas pasir (k_m) = 0,00001 m/det

$$L_m = 0,1 \text{ m} \quad s = L_x = 1,75 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{32 L k_c}{\pi^2 n^2 L_m k} \left(\frac{L_x}{d_w} \right)^2$$

$$\lambda = \frac{32 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{3,14^2 \cdot 28,17^2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1,75}{0,07} \right)^2$$

$$\lambda = 20,406$$

$k_h = 0.000001$ m/det

$e = 1$

$\gamma_w = 9,8$ kN/m³

$a_v = 0,01$ m²/Kn

$$c_h = k_h(1 + e) / \gamma_{wa}v$$

$$c_h = 10^{-6} (1 + 1) / 9,8 \cdot 0,01 = 0.0000205 \text{ m}^2/\text{detik}$$

Waktu konsolidasi;

$$t = (T_h r_c^2) / c_h$$

$$t = (1,92 \cdot 0,99^2) / 0,0000205 = 91121.66 \text{ detik}$$

$$\approx 1.055 \text{ hari} \approx 0,035 \text{ bulan}$$

PVD Geotextile dan konfigurasi

TABEL 14. DATA GEOTEXTIL DAN CONSFIGURASI

l (lebar) (m)	t (tebal) (m)	s (m)	d_w (m)	d_c (m)	r_e (m)
0.1	0.01	1.75	0.07	1.974	0.99

Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel

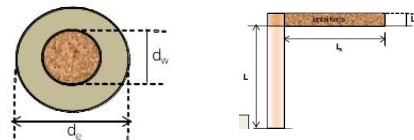
TABEL 15. WAKTU CONSOLIDASI TERPASANG PVD GEOTEXTILE

Layer	Tebal Layer (m)	c_h (m ² /detik)	λ (m ² /detik)	$t = (T_h r_c^2) / c_h$ (bulan)
1	10	0.0000205	20.406	0.035
2	10	0.0000015	20.406	0.472
3	10	0.0000007	30.609	1.047
4	10	0.0000004	40.812	1.739
5	10	0.0000004	51.016	1.917
				5.21

Tanah Dasar

$$c_h = k_h(1 + e) / \gamma_{wa}v$$

Vertical Drained Sand Column/ Tiang Pasir



Gambar 16. Sketsa Vertical Drain Sand Column/ Tiang Pasir

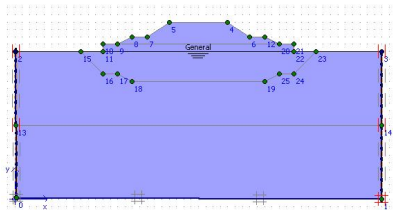
TABEL 16. DATA TIANG PASIR DAN CONSFIGURASI SAND COLUMN/ TIANG PASIR

Diameter d_w (m)	s (m)	d_c (m)	r_e (m)
0.1	1.75	1.974	0.99

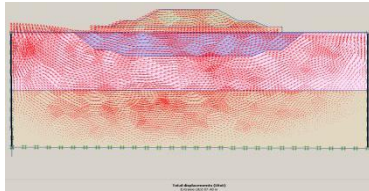
Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel

TABEL 17. WAKTU CONSOLIDASI TERPASANG VD SAND COLUMN/

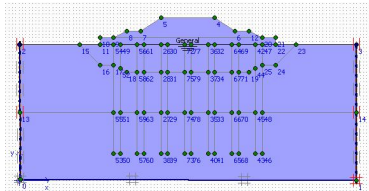
Layer	Tebal Layer (m)	c_h (m ² /detik)	λ (m ² /detik)	$t = (T_h r_c^2)/c_h$ (bulan)
1	10	0.0000205	4.081	0.031
2	10	0.0000015	4.081	0.421
3	10	0.0000007	6.122	0.934
4	10	0.0000004	8.162	1.551
5	10	0.0000004	10.203	1.710
				4.65



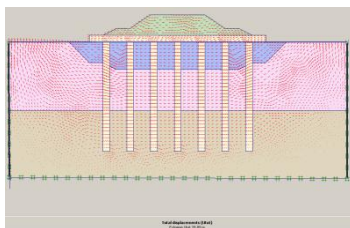
Gambar 17. Timbunan dan Muka Air Tanah Tanpa VD



Gambar 18. Total Displacement Timbunan Tanpa VD



Gambar 19. Timbunan dan Muka Air Tanah Terpasang VD



Gambar 20. Total Displacement Timbunan Terpasang VD

4.2. Pembahasan

Penurunan (Settlement) terjadi jika material tanah menerima beban di atasnya dalam hal ini settlement didefinisikan penurunan konsolidasi (ΔH_c) atau long term

Koefisien compresi di tanah cohesive jenis tanah organik, lempung organik untuk koefisien compresi digunakan formula; $c_c = 0.0115w_n$
 w_n merupakan kadar air natural sedangkan koefisien konsolidasi $c_v; c_v = 0.009(w_L - 10\%)$ sesuai formula Terzaghi dan Peck, 1976 dan w_L merupakan batas cair.

Lamanya proses konsolidasi yang berakibat pada terjadinya settlement disebut waktu konsolidasi (t_i);
 $t_i = TH^2 / c_v$

Dalam permasalahan ini untuk menyelesaikan peningkatan tekanan total $\Delta\sigma$ pada titik P pada salah satu sudut beban merata q berupa bidang persegi; $\Delta\sigma_v = \Delta\sigma_{vo} I_\sigma$
 I_σ merupakan faktor pengaruh tekanan yang disebabkan beban merata bidang persegi dengan panjang L, lebar B berjarak z terhadap titik P formula Fadum (1948).

Perbaikan tanah lunak yang tebal dapat dilakukan dengan melakukan percepatan konsolidasi, hal ini dapat tercapai dengan penggunaan vertical drain menggunakan teori konsolidasi radial dan polar Baron.

Daerah pengaruh drainase vertical d_e
 Besarnya d_e tergantung konfigurasi pemasangan dari vertical drain; $d_e = 1.128 s$ untuk konfigurasi segi empat.

Polythelene berbentuk persegi panjang dikonsversi ke bentuk lingkaran untuk kajian tiang pasir menjadi: $d_w = 2(L + t) / \pi$
 Dengan dipasangnya vertical drain, derajat konsolidasi menjadi: $U = 1 - e^{-8 T_h / (F_n + 0.8\lambda)}$
 Yang mana factor hambat λ Yoshikuni (1990) merupakan fungsi dari permeabilitas k.

Faktor waktu dengan terpasangnya vertical drain; T_h menjadi
 $T_h = c_{vr} t / d_e^2$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Settlement dan waktu konsolidasi

Besar Settlement : 2.07 m
 Waktu Konsolidasi Tanpa Vertical Drained : 19.68 Tahun

Waktu Konsolidasi PVD Geotextil
 Lebar PVD Geotextil : 0.1 m
 Tebal PVD Geotextil : 0.01 m
 Panjang PVD Geotextil : 8 m
 Configurasi Pemasangan PVD Geotextil : Segi Empat
 Jarak Antar PVD Geotextil : 1.75 m

Permeabilitas PVD Geotextil (km)	: 0.0015 m/sec
Waktu Konsolidasi	: 5.21 Bulan
Waktu Konsolidasi Vertical Drained Sand Column/ Tiang Pasir	
Diameter Tiang Pasir	: 4 inc
Panjang Tiang Pasir	: 8 m
Configurasi Pemasangan Tiang Pasir	: Segi Empat
Jarak Antar Tiang	: 1.75 m
Permeabilitas Tiang Pasir (km)	: 0.00001 m/sec
Waktu Konsolidasi	: 4.65 Bulan

- [7] Sutarman, Encu (2006), Pengaruh Additive Kimia Terhadap Kuat Geser Tanah, ITB.
- [8] Sutarman, Encu (2003). Konsep Dan Aplikasi Mekanika Tanah, Penerbit Andi, Jogjakarta.
- [9] Sutarman, Encu (2013). Konsep Dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil, Penerbit Andi, Jogjakarta.
- [10] Sutarman, Encu (2017), Settlement Khas Beberapa Jenis Tanah, Jurnal Istek, Kajian Islam, Sains dan Teknologi, Fakultas Sainstek UIN SGD Bandung, Edisi Mei 2017 Volume X No 1.
- [11] Sengara. I, Dr (1992). Stabilitas Lereng' ITB'.
- [12] Suratman,. Ilyas, Dr.CEA.Ir,(2004). Perilaku Tanah, ITB.
- [13] Sutarman, Encu (2017), Kapasitas Grup Pondasi Tiang Berdasarkan NSPT Pada Abutment Jembatan, Jurnal Tiarsie, Fakultas Teknik Unla Bandung, Edisi Desember 2017 Volume XIV No 1.
- [14] Sutarman, Encu (2018), Pasak Bambu Pondasi Tiang Alternatif Di Tanah Lunak, Jurnal Tiarsie, Fakultas Teknik Unla Bandung, Edisi Agustus 2018 Volume XV No 1.

5.2. Saran

1. PVD Geotextile maupun VD Sand Column/ tiang pasir merupakan salah satu media untuk menyalurkan air dari ruang pori, penggunaan material tersebut sebagai vertical drain maupun horizontal drain akan mempercepat proses konsolidasi (proses keluarnya air dari ruang pori), hal ini sangat penting untuk mempercepat kematangan lahan konstruksi atau mempercepat waktu selesainya settlement.
2. Geotextile maupun pasir memiliki nilai permeabilitas yang tinggi, geotextile berupa membrane dan pasir memiliki butiran kasar sehingga ruang antar butir cukup besar sesuai besarnya butiran pasir yang digunakan.
3. Geotextile maupun pasir selain digunakan sebagai vertical drain juga dapat digunakan sebagai horizontal drain.
4. Pasir sebagai VD maupun horizontal drain (HD) dapat meningkatkan shear strength dari tanah sehingga daya dukung dari tanah akan meningkat.
5. Penggunaan geotextile dan pasir dapat dilakukan secara kombinasi dengan pemilihan konfigurasi pemasangan di lapangan.
6. Panjang, jarak antar VD dan konfigurasi PVD Geotextile dan VD Sand Column perlu dikaji terhadap waktu konsolidasi serta tingkat ekonomis.
7. Dalam penggunaan geotextile sebagai horizontal drain (HD) harus diperhatikan jalur dan elevasinya agar maksimal dalam mengalirkan air kearah samping.

Mengingat begitu pentingnya data parameter tanah yang menjadi dasar perhitungan tentunya data tersebut harus dihasilkan dengan kondisi actual serta metode yang benar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Berry Peter L (1987), An introduction TO Soil Mechanic, Mc Graw – Hill Book Company England.
- [2] Bowles, Joseph (1984) E. Foundation, Mc Graw – Hill, Inc.
- [3] Bowles, Joseph E. (1984) Physical And Geotechnical Propertises Of Soils, Mc Graw – Hill, Inc.
- [4] Das, Braja M. (1985) Principles Of Geotechnical Engineering, Hemisphere Publishing Cooperation.
- [5] Nasution Sarifudin.M.Eng, Ir,. (1990) Stabilitas Tanah, ITB.
- [6] Prakash (1987), Pile Foundation Engineering, London.