

OPTIMIZATION OF CHANGES METHODS OF BAMBOO PILES INTO PVD AHMAD YANI AIRPORT PROJECT

ARIF HAIDAR NUR SHIDQI¹⁾, MOCHAMAD AGUNG WIBOWO²⁾, SRIYANA³⁾

Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro

Email: haidarsanath@gmail.com

Abstrak :Rekayasa Nilai (*Value Engineering*) adalah salah satu teknik untuk mengendalikan biaya yang memiliki potensi keberhasilan cukup besar dengan menggunakan pendekatan analisa nilai terhadap fungsinya. Salah satu cara yang diterapkan menggunakan metode kerja PVD (*Pre Fabricated Vertical Drain*) karena memiliki waktu yang lebih cepat untuk *final settlement*, kemudahan dalam metode kerja, dan memberikan peningkatan daya dukung tanah lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Optimasi Perubahan Metode kerja cerucuk bambu menjadi PVD pada pelaksanaan Proyek Pengembangan Bandara Ahmad Yani – Semarang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rekayasa nilai (*Value Engineering*) yaitu (1) Informasi, (2) Spekulasi, (3) Perencanaan/Pengembangan, (4) Penyajian. Hasil analisis pemilihan metode kerja PVD dan Cerucuk bambu sebagai berikut : Tinggi timbunan yang ingin dicapai yaitu setinggi 8 m melebihi tinggi kritis, Waktu yang diperlukan untuk tercapainya derajat/proses konsolidasi 90% pada penurunan primer adalah selama 19 tahun, Konfigurasi pemasangan PVD yang direkomendasikan adalah PVD (lebar 100 mm dan tebal 3,5 mm) dengan panjang 20 m dan spasi 1 m dengan konfigurasi segitiga, Dengan pemasangan PVD, waktu yang dibutuhkan untuk tercapainya derajat konsolidasi 90% adalah sekitar 3 bulan, Penurunan konsolidasi dengan konstruksi timbunan bertahap dengan tinggi total timbunan 8 m adalah berkisar 2,7 m sampai 3,0 m, Penimbunan tahap awal dilakukan hingga elevasi pemasangan PVD tercapai yaitu $\pm 3,5$ m. Penimbunan berikutnya maksimum sebesar 0,5 m dalam rentang waktu 2 minggu, Deformasi lateral yang terjadi pada area *platform slab on pile* tergolong berpotensi cukup besar yaitu berkisar 1,07 m sampai 1,23 m pada tahap konstruksi dan 1,19 m sampai 1,35 m pada tahap akhir.

Kata Kunci : Metode *Earned Value*, Metode Kerja PVD

Abstract: *Value Engineering* is a technique for controlling costs that have a significant potential for success by using a value analysis approach to its function. One of the methods applied uses the PVD (*Pre Fabricated Vertical Drain*) work method because it has a faster time for final settlement, ease in working methods, and provides better soil carrying capacity. This study aims to determine the Optimization of Changes in the Method of working bamboo piles into PVD in the implementation of the Ahmad Yani Airport Development Project - Semarang. The method used in this study is the value engineering method (*Value Engineering*), namely (1) Information, (2) Speculation, (3) Planning / Development, (4) Presentation. The results of the analysis of the selection of the working methods of PVD and bamboo piles are as follows: The heap height to be achieved is as high as 8 m over the critical height, the time required for achieving a degree / consolidation process of 90% in the primary reduction is 19 years, the recommended configuration of PVD installation is PVD (width of 100 mm and thickness of 3.5 mm) with a length of 20 m and a spacing of 1 m with a triangular configuration, With the installation of PVD, the time required to achieve a degree of consolidation of 90% is about 3 months. the total heap of 8 m is around 2.7 m to 3.0 m, the initial stockpiling is carried out until the elevation of the PVD installation is reached + 3.5 m. The next maximum landfill is 0.5 m in a span of 2 weeks. Lateral deformation that occurs in the slab on pile platform area is classified as potentially quite large, ranging from 1.07 m to 1.23 m at the construction stage and 1.19 m to 1, 35 m in the final stage.

Keywords : *Earned Value Method*, *PVD Working Method*

PENDAHULUAN

Rekayasa Nilai (*Value Engineering*) adalah salah satu teknik untuk mengendalikan biaya yang memiliki potensi keberhasilan cukup besar, dengan menggunakan pendekatan analisa nilai terhadap fungsinya.

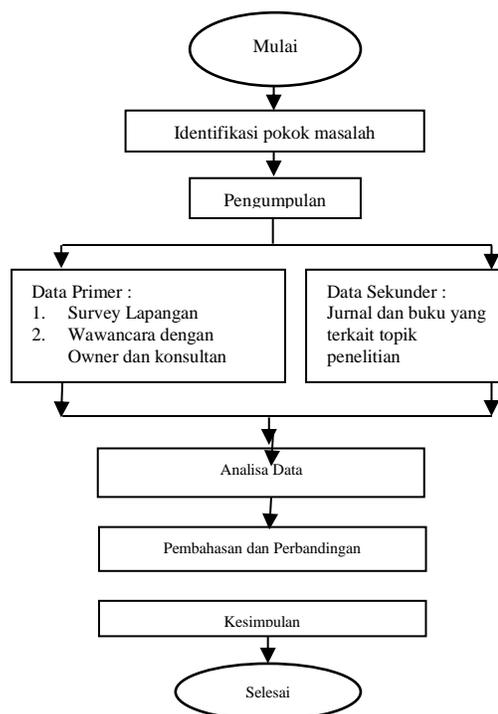
Pada pelaksanaan Proyek pengembangan Bandara Ahmad Yani ditemukan kendala teknis terkait masalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *final settlement* dari area tanah reklamasi, sehingga berpotensi menyebabkan terlambatnya penyelesaian konstruksi pekerjaan pengembangan bandara Ahmad Yani. Perbaikan (stabilisasi) tanah diperlukan untuk pembangunan pada lahan yang tanahnya memiliki daya dukung yang rendah. Berdasarkan anggaran dan waktu yang terbatas pada pelaksanaan Proyek Pembangunan Bandara A.Yani dilakukan evaluasi metode stabilisasi tanah cerucuk bambu dan PVD (*Pre Fabricated Vertical Drain*). Hasil evaluasi Rekayasa nilai metode kerja cerucuk bambu dengan PVD ditemukan bahwa metode kerja PVD memiliki waktu yang lebih cepat untuk *final settlement*, kemudahan dalam metode kerja dan memberikan peningkatan daya dukung tanah lebih baik dibandingkan dengan penggunaan metode kerja cerucuk bambu. Perubahan metode kerja tersebut memberikan dampak signifikan terhadap waktu, mutu/kualitas dan biaya mengenai penyelesaian proyek pengembangan bandara Ahmad Yani – Semarang. Penelitian ini membahas Optimasi Perubahan Metode kerja cerucuk bambu menjadi PVD pada Proyek Pengembangan Bandara Ahmad Yani - Semarang.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada pembangunan Proyek Pengembangan Jalan Akses Bandara A.yani Paket -1 yang terletak di Semarang, Jawa Tengah.

Tahapan Penelitian



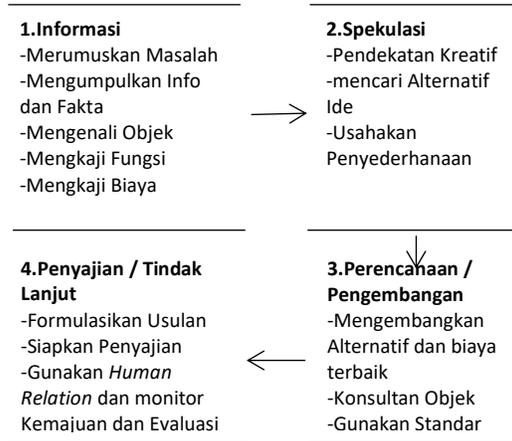
Gambar 1. Tahapan Penelitian

Identifikasi Pokok Masalah Penelitian

Pokok masalah yang akan diangkat adalah Optimasi perubahan metode kerja cerucuk bambu menjadi PVD pada pelaksanaan pengembangan Bandara Ahmad Yani – Semarang.

Metode Analisis

Menggunakan metode rekayasa nilai
(Value Engineering) :



Gambar 2. Tahapan Rekayasa Nilai

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan *Job Plan* dalam VE (*Value Engineering*) tahap pertama yang harus dilalui adalah mengumpulkan informasi sebanyak mungkin objek / proyek lalu mengidentifikasi.

Gambaran Umum Proyek

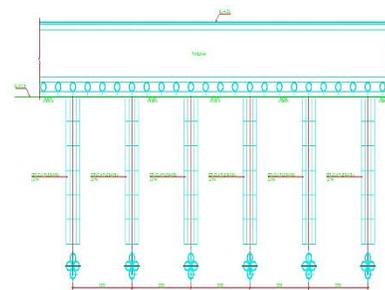
Pada Proyek Pembangunan Jalan Akses Bandara Ahmad Yani Semarang dijalankan oleh PT. Hutama – Nindya KSO dengan Konsultan Supervisi PT. Jaya CM serta *Owner* nya adalah PT. Angkasa Pura I (Persero). Proyek ini memiliki harga kontrak Rp 262.438.000.000 dengan kontrak 1286 hari kalender (24 April 2014 – 31 Oktober 2017).

Pada Penelitian ini, pekerjaan yang akan dievaluasi adalah VE (*value engineering*) perubahan metode cerucuk bambu menjadi PVD (*Pre Fabricated Vertical Drain*) pada perbaikan tanah lunak yang mana tanah lunak tersebut memiliki ketebalan lapisan ± 18 m.

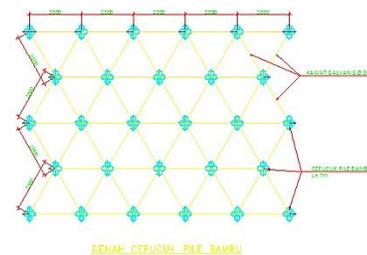
Analisis dengan Cerucuk Bambu

Pada analisis ini dilakukan dengan program *finite element* PLAXIS 2D untuk menganalisis kondisi timbunan 4 m yang berdiri di atas tanah lunak setebal 18 m. Parameter tanah lunak nilai kohesi (c) adalah 4 kPa, γ timbunan sebesar 16 kN/m³ dengan angka keamanan (SF) 1,5.

Data dan Spesifikasi Cerucuk Bambu



Gambar 3. Potongan Cerucuk Pile Bambu pada Desain Asli (Data : PT. Portal Engineering Perkasa JO dengan PT. Graha Matra Desain)



Gambar 4. Denah Cerucuk Pile Bambu pada Desain Asli (Data : PT. Portal Engineering Perkasa JO dengan PT. Graha Matra Desain)

Untuk spesifikasi cerucuk sebagai berikut:

- Panjang cerucuk bambu : 7 m
- Jumlah cerucuk perikat : 4 buah
- Jenis konfigurasi : Segitiga

Tabel 1/ Spesifikasi Cerucuk Bambu

| Bamboo Spec. | | | |
|---------------------|------------------|-----------|-------------------|
| Modulus Elasticity | E | : 9000000 | kN/m ² |
| Bamboo Diameter | d | : 0.1 | m |
| Bamboo Comb. | n | : 4 | Bamboos |
| Bamboo Spacing | Sx | : 2 | m |
| | Sy | : 1.7 | m |
| Soil Data | | | |
| Soil Type | | : Clay | |
| N-SPT | | : 1 | Blows/30cm |
| Cu | | : 4 | kPa |
| Calculation | | | |
| Area of 1 Bamboo | A ₁ | : 0.00785 | m ² |
| Comb.Area | A _p | : 0.031 | m ² |
| Equivalent Diameter | d _{eq} | : 0.200 | m |
| Embedded Length | L _{emb} | : 7.0 | m |
| Skin Area | A _s | : 4.398 | m ² |
| Adhesion Factor | A | : 1 | |
| Skin Friction | f _s | : 4 | kPa |
| End Bearing | q _p | : 36 | kPa |
| Ultimate Capacity | Q _{ult} | : 18.724 | kN |
| Safety Factor | SF | : 1.5 | |
| Allowable Capacity | Q _{all} | : 12.483 | kN |

Pemodelan

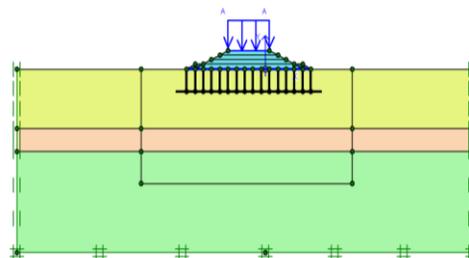
Berikut adalah tabel Analisis Parameter Tanah dan Struktur yang digunakan dalam analisis ini,

Tabel 2. Analisis Parameter Tanah dan Struktur

| Parameter | Satuan | Cerucuk Bambu |
|--------------|--------|------------------|
| Jenis elemen | | Fixed end anchor |
| EA | kN | 23000.00 |
| L spacing | | 1.70 |
| Fmax | kN | 2,5 |
| Parameter | Satuan | Matras Bambu |
| Jenis elemen | | Beam |
| EA | kN/m | 140000 |

| | | |
|----|--------|-----|
| EI | kN/m | 115 |
| W | kN/m/m | 62 |

parameter tanah dan struktural yang digunakan dalam analisis ini.



Gambar 5. Model dengan Penguatan Cerucuk Bambu (c = 4 kPa)

Gambar di atas merupakan pemodelan Plaxis 2D timbunan *preloading* dengan kohesi 4 kPa dan γ timbunan sebesar 16 kN/m³ dengan penguatan cerucuk bambu.

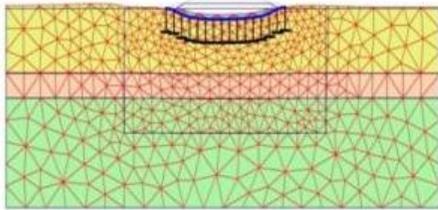
Berikut adalah tahapan konstruksi pada tahap kalkulasi :

Tabel 3. Tahapan Konstruksi pada Tahap Kalkulasi

| Tahapan Konstruksi | Aktivitas Konstruksi | Keterangan |
|--------------------|---|------------|
| Tahap 1 | Konstruksi tiang dan matras cerucuk bambu | Berhasil |
| Tahap 2 | Penimbunan pertama (1 m) | Berhasil |
| Tahap 3 | Penimbunan kedua (2 m) | Gagal |
| Tahap 4 | Penimbunan ketiga (3 m) | |
| Tahap 5 | Penimbunan keempat (4 m) | |
| Tahap 6 | Aktivitas beban sebesar 15 kPa | |
| Tahap 7 | Pemberian <i>counter weight</i> | |

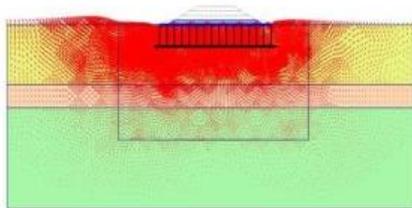
Hasil Analisis

a) Penimbunan Tahap 1 (h = 1 m)



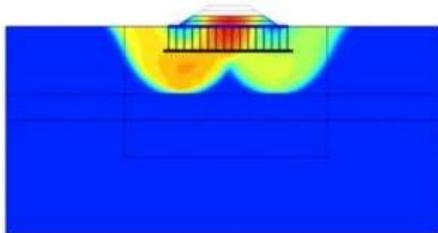
Gambar 6. Deformasi pada Tahap Penimbunan 1 m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4$ kPa)

Pada gambar di atas tidak terjadi kegagalan karena tanah dasar mampu menahan beban dari timbunan tersebut (*bearing capacity* nya bisa menahan berat dari tanah timbunan).



Gambar 7. Vektor Total *Displacement* pada Tahap Penimbunan 1 m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4$ kPa)

Pada gambar di atas, arah gerak tanah daerah timbunan akan turun dan tanah sebelah area timbunan akan naik akibat beban timbunan setinggi 1 m serta menunjukkan penurunan yang stabil.

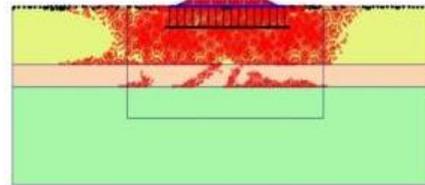


Gambar 8. Kontur Total *Displacement* pada Tahap Penimbunan 1 m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4$ kPa)

Dapat dilihat bahwa diagram *stress* tanah dengan perkuatan cerucuk bambu dengan

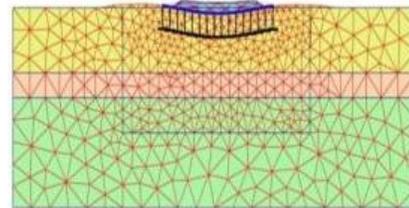
koheksi 4 kPa yg diterima dengan perkuatan tersebut lebih kecil sehingga tanah mampu menahan lebih baik timbunan setinggi 1m.

b) Penimbunan Tahap 2 (h = 2 m)



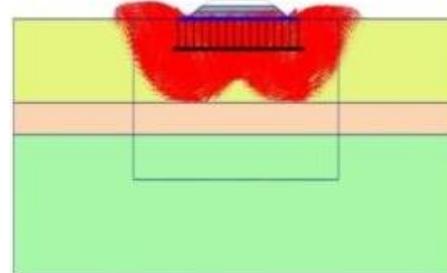
Gambar 9. *Plastic Points* pada Tahap Penimbunan 2m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4$ kPa)

Gambar di atas merupakan *plastic points* penimbunan 2 m dengan koheksi tanah 4 kPa terlihat bahawa pergreakan tanah terbesar ke arah kanan dan kiri.



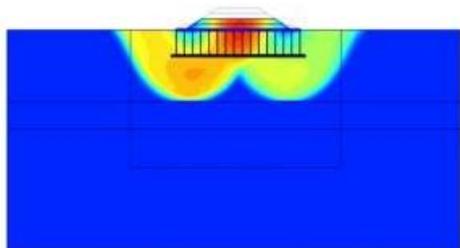
Gambar 9. Deformasi pada Tahap Penimbunan 2 m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4$ kPa)

Dari gambar di atas terlihat bentuk deformasi timbunan 2 m dan koheksi 4 kPa dan tidak terjadi kegagalan karena tanah dasar mampu menahan beban timbunan tersebut (*bearing capacity* nya bisa menahan berat tanah timbunan).



Gambar 10. Vektor Total *Displacement* pada Tahap Penimbunan 2 m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4$ kPa)

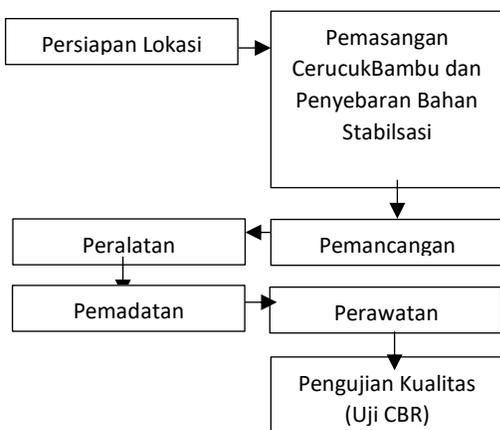
Merupakan gambar arah gerak, tanah daerah timbunan akan turun dan tanah sebelah area timbunan akan naik akibat beban timbunan setinggi 2 m serta menunjukkan penurunan yang stabil.



Gambar 11. Kontur Total *Displacement* pada Tahap Penimbunan 2 m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4 \text{ kPa}$)

Dapat dilihat bahwa area *stressing* tanah dengan perkuatan cerucuk bambu dengan Gambar 4.19 Kontur Total *Displacement* wapada Tahap Penimbunan 2 m dengan Perkuatan Cerucuk Bambu ($c = 4 \text{ kPa}$)

Metode Pelaksanaan Pekerjaan Cerucuk Bambu



Gambar 12. *Flow Chart* Metode Kerja Cerucuk Bambu

Biaya Pelaksanaan Metode Cerucuk Bambu

Tabel 4. Harga Satuan Pelaksanaan Pekerjaan Metode Cerucuk Bambu

| No | Uraian Pek. | Sat. | Vol. | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga Satuan (Rp) |
|----|---|------|---------|-------------------|--------------------------|
| 1. | Instalasi Cerucuk Pile Bambu | Unit | 54.750 | 118.626 | 6.494.779.516 |
| 2. | Kawat Galvanis d:3mm per 3,46m ² | Mtr | 333.000 | 1.714 | 570.945.150 |
| 3. | Raft bambu 3 lapis | M2 | 156.900 | 78.950 | 12.387.255 |
| 4. | Combi grid Biaxial | M2 | 156.900 | 70.850 | 11.116.365.000 |
| | | | | Total | 41.295.198.166 |

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa pelaksanaan pekerjaan metode cerucuk bambu pada Proyek Pengembangan Jalan Akses Bandara A.Yani – Semarang sebesar Rp. 41.295.198.166

Analisis dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*

Konsolidasi primer umumnya membutuhkan waktu yang sangat lama dan bahkan memerlukan waktu bertahun-tahun untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Oleh karena itu diperlukan solusi yang dapat mempercepat keluarnya air pori dari dalam tanah dengan mempergunakan drainase vertikal tambahan berupa PVD.

Parameter yang diperlukan untuk desain PVD berupa koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v), koefisien konsolidasi arah horizontal (C_h), panjang alur drainase vertikal, panjang alur drainase horizontal, jarak dan diameter PVD.

Dalam desain PVD, diasumsikan bahwa *excess pore water pressure* pada lapisan tanah dikeluarkan dengan arah radial dan vertikal. Kecepatan drainase arah radial lebih cepat dibandingkan arah vertikal. Karena tidak tersedia data/hasil pengujian, dalam analisis ini diasumsikan nilai $Ch = 2 Cv$.

Berikut adalah persamaan-persamaan dalam perhitungan desain PVD. Konsolidasi arah vertikal dan arah arah radial.

$$U_{vr} = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

Dimana,

U_{vr} : derajat konsolidasi total

U_v : derajat konsolidasi arah vertikal

U_h : derajat konsolidasi arah radial

Konsolidasi arah vertikal

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

$$T \leq 0,2, \text{ maka } U_v = \frac{\sqrt{4T}}{\pi}$$

$$T \leq 0,2, \text{ mu aka } U_v = 1 - \frac{8 - \pi^2 r}{\pi^2 e^4}$$

Dimana,

T_v = *Time factor* (arah vertikal)

t = waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi arah vertikal

C_v = Koefisien konsolidasi arah vertikal

H_{dr} = Panjang pengaliran arah vertikal

Konsolidasi arah radial

$$T_r = \frac{t \times C_h}{d_e^2}$$

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8T_r}{F(n)}\right)$$

Dimana,

T_r = *Time factor* (arah vertikal)

t = Waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi arah radial

Ch = Koefisien konsolidasi arah radial

d_e = Diameter area silindris drainase

De = 1.05s (untuk PVD konfigurasi segitiga)

Ed = 1.13s (untuk PVD konfigurasi kotak)

Fn = Faktor jarak drain

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

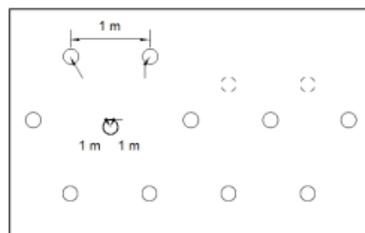
$n = re/w$

$rw = (a+b)/\pi$

Data Spesifikasi PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

Untuk analisis ini digunakan asumsi sebagai berikut :

- Spasi : 1.00 meter
- Panjang : 20 meter
- Konfigurasi : Segitiga
- Dimensi PVD $a = 100 \text{ mm}$
 $b = 3,5 \text{ mm}$
- Nilai ch : 0.0016 cm^2/detik



Gambar 13. Konfigurasi PVD

Analisa Waktu Konsolidasi dengan PVD

Sesuai dengan perhitungan sebelumnya, proses konsolidasi untuk mencapai derajat konsolidasi $U = 90\%$ dengan penurunan sebesar 2.8 m berdasarkan hasil perhitungan akan memerlukan waktu selama 19 tahun. Dengan demikian, digunakan metode PVD untuk dapat mempercepat penurunan konsolidasi dengan proses penimbunan

bertahap. Hasil perhitungan waktu konsolidasi dengan metode PVD berdasarkan derajat konsolidasi radial adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Perhitungan Waktu Konsolidasi dengan Metode PVD berdasarkan Derajat Konsolidasi Radial

| U(%) | Fn | Th | Ch (cm/det) | Detik | Hari | Bulan | Tahun |
|-------|-------|------|----------------|------------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 2.030 | 0.00 | 0.00160 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5.00 | 2.030 | 0.01 | 0.00160 | 89707.61 | 1.04 | 0.03 | 0.00 |
| 10.00 | 2.030 | 0.03 | 0.00160 | 184266.59 | 2.13 | 0.07 | 0.01 |
| 15.00 | 2.030 | 0.04 | 0.00160 | 284231.79 | 3.29 | 0.11 | 0.01 |
| 20.00 | 2.030 | 0.06 | 0.00160 | 390259.10 | 4.52 | 0.15 | 0.01 |
| 25.00 | 2.030 | 0.07 | 0.00160 | 503131.49 | 5.82 | 0.19 | 0.02 |
| 30.00 | 2.030 | 0.09 | 0.00160 | 623794.16 | 7.22 | 0.24 | 0.02 |
| 35.00 | 2.030 | 0.11 | 0.00160 | 753402.70 | 8.72 | 0.29 | 0.02 |
| 40.00 | 2.030 | 0.13 | 0.00160 | 893390.59 | 10.34 | 0.34 | 0.03 |
| 45.00 | 2.030 | 0.15 | 0.00160 | 1045566.10 | 12.10 | 0.40 | 0.03 |
| 50.00 | 2.030 | 0.18 | 0.00160 | 1212255.50 | 14.03 | 0.46 | 0.04 |
| 55.00 | 2.030 | 0.20 | 0.00160 | 1396522.09 | 16.16 | 0.53 | 0.04 |
| 60.00 | 2.030 | 0.23 | 0.00160 | 1602514.60 | 18.55 | 0.61 | 0.05 |
| 65.00 | 2.030 | 0.27 | 0.00160 | 1836049.66 | 21.25 | 0.70 | 0.06 |
| 70.00 | 2.030 | 0.31 | 0.00160 | 2105646.09 | 24.37 | 0.80 | 0.07 |
| 75.00 | 2.030 | 0.35 | 0.00160 | 2424511.00 | 28.06 | 0.92 | 0.08 |
| 80.00 | 2.030 | 0.41 | 0.00160 | 2814770.10 | 32.58 | 1.07 | 0.09 |
| 85.00 | 2.030 | 0.48 | 0.00160 | 3317901.59 | 38.40 | 1.26 | 0.10 |
| 90.00 | 2.030 | 0.58 | 0.00160 | 4027025.60 | 46.61 | 1.53 | 0.13 |
| 95.00 | 2.030 | 0.76 | 0.00160 | 5239281.10 | 60.64 | 1.99 | 0.17 |

Untuk bisa melakukan penimbunan mencapai ketinggian 8 meter perlu dilakukan penimbunan secara bertahap karena berdasarkan data yang ada tinggi kritis timbunan adalah 3,10 meter. Oleh karena itu, diusulkan penimbunan bertahap yang terdiri atas 6 tahapan.

Analisa Timbunan Bertahap

Tinggi timbunan yang ingin dicapai adalah setinggi 8 meter. Untuk dapat mencapai tinggi timbunan tersebut maka penimbunan bertahap dilakukan dalam 6 tahapan. Perhitungan timbunan bertahap ditampilkan.

Tabel 6. Timbunan Bertahap

| | | |
|--------------------|------|-------------------|
| c initial | 8.0 | kN/m ² |
| γ timbunan | 18 | kN/m ³ |
| muka air | 2.50 | m |
| tinggi kritis awal | 3.67 | m |

Tabel 7. Hasil Perhitungan Panjang Total PVD

| TIMBUNAN TAHAP 1 | | | |
|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| H | 3,00 m | Δυ | 29,00 kN/m ² |
| h total timbunan | 3,00 | sisa Δυ terdisipasi | 5,80 kN/m ² |
| Δσ | 29,00 kN/m ² | | |
| Derajat Konsolidasi | 0,80 | | |
| Δc | 5.10 kN/m ² | Waktu (bulan) | 1,07 |
| C | 11,10 kN/m ² | Hari | 32 |
| Total tinggi kritis | 4,56 m | | |
| Penambahan tinggi | 1,24 m | | |
| TIMBUNAN TAHAP 2 | | | |
| H | 1,00 m | Δυ | 23,80 kN/m ² |
| h total timbunan | 4,00 | sisa Δυ terdisipasi | 4,76 kN/m ² |
| Δσ | 18,00 kN/m ² | | |
| Derajat Konsolidasi | 0,80 | | |
| Δc | 4.19 kN/m ² | Waktu (bulan) | 1,07 |
| c | 15,29 kN/m ² | Hari | 32 |
| Total tinggi kritis | 5,76 m | | |
| Penambahan tinggi | 1,49 m | | |
| TIMBUNAN TAHAP 3 | | | |
| h | 1,00 m | Δυ | 22,76 kN/m ² |
| h total timbunan | 5,00 | sisa Δυ terdisipasi | 4,55 kN/m ² |
| Δσ | 18,00 kN/m ² | | |
| Derajat Konsolidasi | 0,80 | | |
| Δc | 4,01 kN/m ² | Waktu (bulan) | 1,07 |
| c | 19,30 kN/m ² | Hari | 32 |
| Total tinggi kritis | 6,90 m | | |
| Penambahan tinggi | 1,65 m | | |

| TIMBUNAN | TAHAP 4 | | |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| h | 1,00 m | Δv | 22,55 kN/m ² |
| h total timbunan | 6,00 | sisa Δv terdisipasi | 4,51 kN/m ² |
| $\Delta \sigma$ | 18,00 kN/m ² | | |
| Derajat Konsolidasi | 0,80 | | |
| Δc | 3,97 kN/m ² | Waktu (bulan) | 1,07 |
| c | 23,27 kN/m ² | Hari | 32 |
| Total tinggi kritis | 8,03 m | | |
| Penambahan tinggi | 1,78 m | | |

| TIMBUNAN | TAHAP 5 | | |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| h | 1,00 m | Δv | 22,51 kN/m ² |
| h total timbunan | 7,00 | sisa Δv terdisipasi | 4,50 kN/m ² |
| $\Delta \sigma$ | 18,00 kN/m ² | | |
| Derajat Konsolidasi | 0,80 | | |
| Δc | 3,96 kN/m ² | Waktu (bulan) | 1,07 |
| C | 27,23 kN/m ² | Hari | 32 |
| Total tinggi kritis | 9,16 m | | |
| Penambahan tinggi | 1,91 m | | |

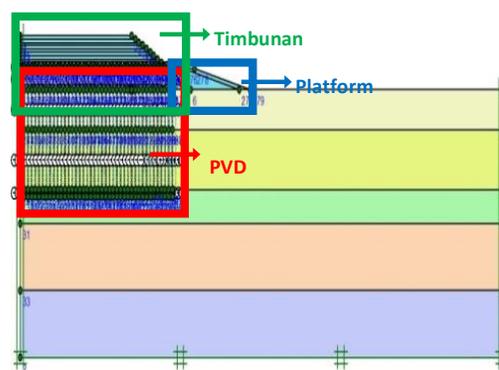
| TIMBUNAN | TAHAP 6 | | |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| H | 1,00 m | Δv | 22,50 kN/m ² |
| h total timbunan | 8,00 | sisa Δv terdisipasi | 2,25 kN/m ² |
| $\Delta \sigma$ | 18,00 kN/m ² | | |
| Derajat Konsolidasi | 0,90 | | |
| Δc | 4,46 kN/m ² | Waktu (bulan) | 1,53 |
| C | 31,68 kN/m ² | Hari | 46 |
| Total tinggi kritis | 10,44 m | | |
| Penambahan tinggi | 2,31 m | | |

| Item | H (m) | U (%) | T (bln) | Sc (m) | | | | | |
|--------|-------|-------|---------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Thp. 1 | 3 | 80 | 1.07 | 1.0 | | | | | |
| Thp. 2 | 1 | 80 | 1.07 | 0.3 | 0.2 | | | | |
| Thp. 3 | 1 | 80 | 1.07 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | | | |
| Thp. 4 | 1 | 80 | 1.07 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| Thp. 5 | 1 | 80 | 1.07 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| Thp. 6 | 1 | 80 | 1.53 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Total | 8 | | 6.87 | | | | 3.0 | | |

Spasi : 100 cm
 Panjang (dari muka tanah) : 16.5 m
 Elevasi ke sand blanket : 3.5 m
 Panjang total PVD : 20 m

Berdasarkan, proses penimbunan bertahap dengan menggunakan metode PVD akan menghasilkan penurunan sebesar 3.01 m dan hanya berlangsung selama sekitar 7 bulan di luar waktu konstruksi. Hasil ini memiliki perbedaan yang sangat signifikan dibandingkan dengan lama waktu konsolidasi tanpa menggunakan PVD.

Model 1 : timbunan untuk area disekitar *outer boundary / water pond*. Model ini menggambar situasi timbunan dengan kondisi bebas tanpa adanya struktur di sekitarnya.



Gambar 14. Model 1

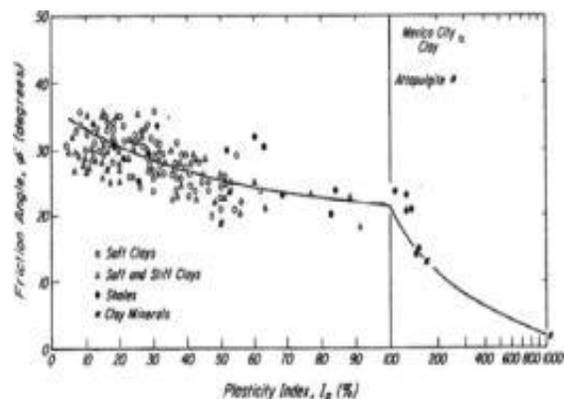
Tabel 8. Parameter Analisis Tanah

| Ke t. | Sat. | Tim b. | Sand Drain | Lay.1 | Lay.2 | Lay.3 | Lay.4 | Lay.5 |
|-------------|-------------------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Y_{un} | kN/m ³ | 18 | 18 | 9 | 9 | 9 | 17 | 18 |
| Y_{sat} | kN/m ³ | 18. | 18. | 16 | 16 | 16 | 19 | 20 |
| K_x | m/d ay | 0.1 | 10 | 0.000 | 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| K_y | m/d ay | 0.1 | 10 | 0.000 | 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| C_{re} | kN/m ² | 5 | 5 | 1 | 1 | 40 | 125 | 125 |
| ϕ | Degree | 30 | 30 | 20 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| E_{ref} | kPa | 100 | 100 | - | - | 800 | 250 | 450 |
| λ^* | | - | - | 0.126 | 0.118 | - | - | - |
| K^* | | - | - | 0.023 | 0.026 | - | - | - |

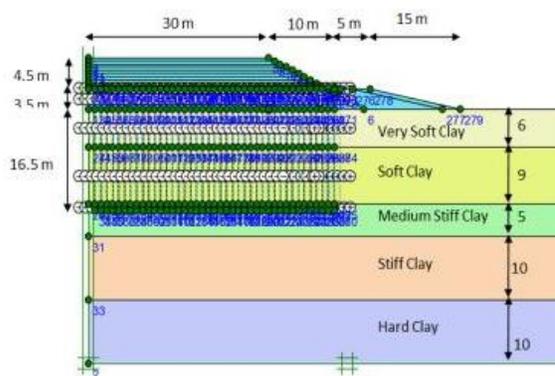
dengan keterangan sebagai berikut :

| Item | Mode Material | Type Material |
|-------------------------|---------------|---------------|
| Timbunan | Mohr-Coulomb | Drained |
| Sand Drain | Mohr-Coulomb | Drained |
| Lay.1 (Soft Soil N=1) | Soft Soil | Undrained |
| Lay.2 (Soft Soil N=4) | Soft Soil | Undrained |
| Lay.3 (Med Clay N=8) | Mohr-Coulomb | Undrained |
| Lay.1 (Stiif Clay N=25) | Mohr-Coulomb | Undrained |
| Lay.1 (Hard Clay N=45) | Mohr-Coulomb | Undrained |

Untuk model Mohr-Coulomb, korelasi nilai S_u yang umumnya digunakan untuk keperluan praktis desain adalah $S_u = 5 \cdot NSPT$. Nilai E yang digunakan berdasarkan pendekatan korelasi dari Duncan dan Buchignani (1976). Pada model soft soil diperlukan parameter efektif sebagai input *shear strength*. Karena tidak tersedianya data parameter efektif, maka parameter efektif diambil dari korelasi Terzaghi, Peck dan Mesri (1996) yaitu hubungan nilai ϕ' dengan PI (%). Nilai λ^* dan κ^* diperoleh dari turunan nilai C_c dan C_s dari data konsolidasi yang tersedia.



Gambar 15. Hubungan Nilai ϕ' dengan Plasticity Index



Gambar 16. Dimensi Model

Dalam proses perhitungan, tahapan konstruksi dimodelkan dengan tahapan timbunan bertahap disertai dengan proses konsolidasi. Untuk pemodelan dengan elemen hingga disimulasikan penimbunan bertahap yang dilakukan secara menerus tanpa waktu tunggu. Timbunan pertama dilakukan setinggi 3,5 meter yang terdiri atas timbunan platform setinggi 3m0 meter dan lapisan *sand drain* setebal 0,5 meter. Selanjutnya timbunan bertahap dilakukan dengan kenaikan timbunan setiap 0,5 meter dengan proses konsolidasi selama 2 minggu untuk setiap tahapan konstruksi (asumsi termasuk waktu konstruksi sekaligus waktu konsolidasi di lapangan). Tahapan konsolidasi akhir dimodelkan selama 3

bulan. Berikut adalah tahapan perhitungan yang dilakukan dalam analisis elemen hingga.

Tabel 9. Tahapan Kalkulasi

| Thp. | Actv. | M1 | M2 | M3 | Waktu (Hari) |
|------|-------------------------------------|-----|-----|----|--------------|
| 1. | Timbunan 1 (Plattfordansandrain) | 3.5 | 3.5 | 0 | 0 |
| 2. | Konsolidasi | 0 | 3.5 | 14 | 14 |
| 3. | Timbunan 2 | 0.5 | 4.0 | 0 | 14 |
| 4. | Konsolidasi | 0 | 4.0 | 14 | 28 |
| 5. | Timbunan 3 | 0.5 | 4.5 | 0 | 28 |
| 6. | Konsolidasi | 0 | 4.5 | 14 | 42 |
| 7. | Timbunan 4 | 0.5 | 5.0 | 0 | 42 |
| 8. | Konsolidasi | 0 | 5.0 | 14 | 56 |
| 9. | Timbunan 5 | 0.5 | 5.5 | 0 | 56 |
| 10. | Konsolidasi | 0 | 5.5 | 14 | 70 |
| 11. | Timbunan 6 | 0.5 | 6.0 | 0 | 70 |
| 12. | Konsolidasi | 0 | 6.0 | 14 | 84 |
| 13. | Timbunan 7 | 0.5 | 6.5 | 0 | 84 |
| 14. | Konsolidasi | 0 | 6.5 | 14 | 98 |
| 15. | Timbunan 8 | 0.5 | 7.0 | 0 | 98 |
| 16. | Konsolidasi | 0 | 7.0 | 14 | 112 |
| 17. | Timbunan 9 | 0.5 | 7.5 | 0 | 112 |
| 18. | Konsolidasi | 0 | 7.5 | 14 | 126 |
| 19. | Timbunan 10 | 0.5 | 8.0 | 0 | 126 |
| 20. | Konsolidasi Akhir | 0 | 8.0 | 14 | 216 |

Keterangan :

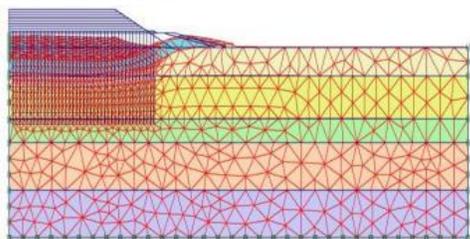
M1 : Penambahan Tinggi Timb. (m)

M2 : Total Tinggi Timb. (m)

M3 : Penambahan Waktu (m)

Perlu dicatat, pada tahapan konstruksi nanti, waktu penambahan tinggi timbunan sangat bergantung kepada hasil pembacaan dispasi ekses air pori pada alat piezometer.

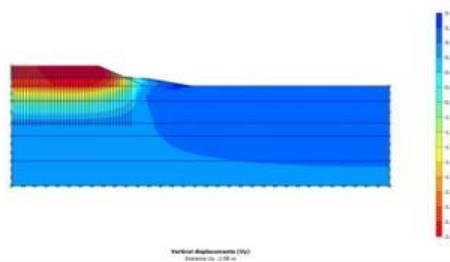
Hasil Pemodelan



Gambar 16, Deformasi Timbunan (Model 1)

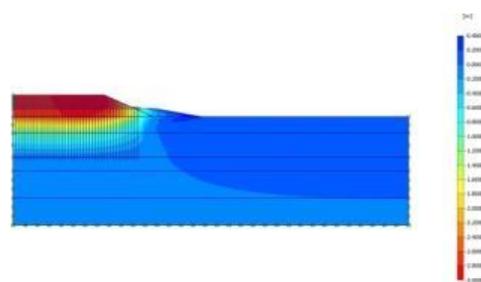
Dari hasil pemodelan didapatkan total penurunan hasil perhitungan untuk tahap akhir konstruksi adalah sebesar 2,58 meter. Total penurunan tersebut terdiri atas

penurunan langsung dan penurunan konsolidasi. Penurunan langsung hasil perhitungan adalah sebesar 0,29 meter, sedangkan penurunan konsolidasi hasil perhitungan adalah sebesar 2,29 meter.



Gambar 17. Deformasi Vertikal pada Akhir Tahap Konstruksi (Model 1) (Max. 2.58m)

Pada tahap akhir konsolidasi, total penurunan hasil perhitungan adalah sebesar 2,97 meter. Total penurunan tersebut terdiri atas penurunan langsung dan penurunan konsolidasi. Penurunan langsung hasil perhitungan adalah sebesar 0,29 meter, sedangkan penurunan konsolidasi hasil perhitungan adalah sebesar 2,68 meter.



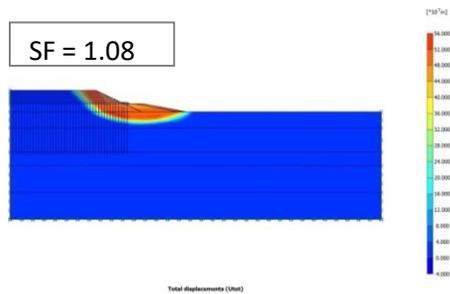
Gambar 18. Deformasi Vertikal pada Tahap Akhir Konsolidasi (Model 1) (Max. 2.97m)

Tabel 10. Penurunan Tanah dan Faktor Keamanan (Model 1)

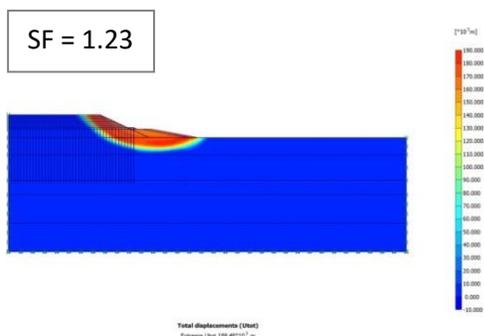
| Thp. | Penurunan Langsung (m) | Penurunan Konsolidasi (m) | Penurunan Total (m) | SF |
|-------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|------|
| Akhir Konstruksi | 0,29 | 2,29 | 2,58 | 1,08 |
| Akhir Konsolidasi | 0,29 | 2,68 | 2,97 | 1,23 |

Berdasarkan tabel 10, angka keamanan global setelah tahapan konstruksi adalah sebesar 1,08 dengan pola keruntuhan yang terjadi

seperti yang ditampilkan pada gambar 17-18 dimana keruntuhan terjadi di badan timbunan utama. Namun seiring dengan berjalannya waktu dan berlangsungnya konsolidasi, terjadi peningkatan stabilitas dengan angka keamanan hasil perhitungan sebesar 1,23 untuk waktu konsolidasi 3 bulan setelah tahap akhir konstruksi. Apabila waktu konsolidasi setelah tahap akhir konstruksi diperpanjang selama 6 bulan, maka nilai angka keamanan hasil perhitungan meningkat menjadi 1.25.

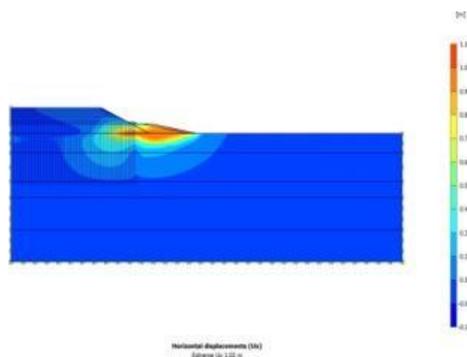


Gambar 19. Mekanisme Keruntuhan pada Tahap Akhir Konstruksi (Model 1)

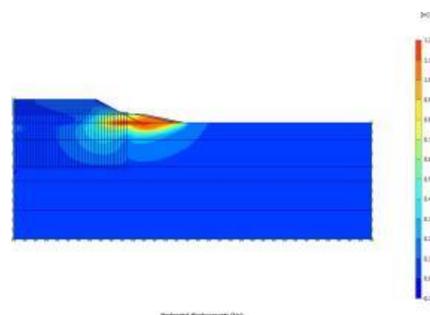


Gambar 20. Mekanisme Keruntuhan pada Tahap Akhir Konsolidasi (Model 1)

Deformasi horizontal terbesar terjadi area pada badan platform. Untuk akhir tahap konstruksi, deformasi horizontal maksimum yang terjadi adalah 1.03 m, sedangkan pada tahap akhir konsolidasi adalah 1,17 m.

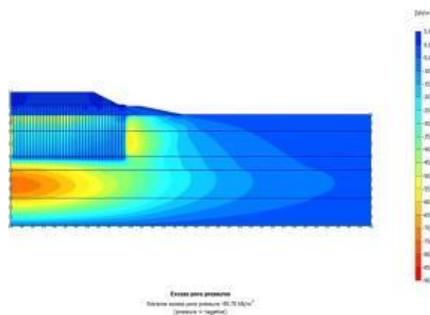


Gambar 21. Deformasi Horizontal pada Tahap Akhir Konstruksi (Model 1) (Max.1.03m)

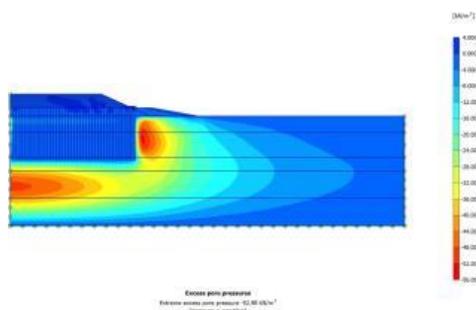


Gambar 22. Deformasi Horizontal pada Tahap Akhir Konsolidasi (Model 1) (Max.1.17m)

Excess pore pressure untuk tahapan akhir konstruksi dan akhir konsolidasi ditampilkan pada gambar 19 dan gambar 20. Terlihat pada gambar 19, bahwa *excess pore pressure* pada lapisan tanah lunak di bawah timbunan telah terdisipasi sepenuhnya selama 3 bulan setelah tahap akhir konstruksi (penimbunan terakhir).

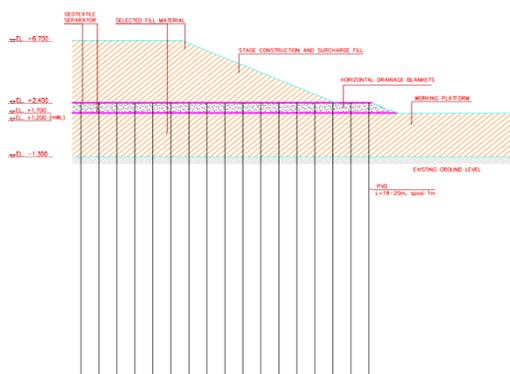


Gambar 23. *Excess Pore Pressure* pada Tahap Konstruksi (Model 1)



Gambar 24. *Excess Pore Pressure* pada Tahap Akhir Konsolidasi (3 Bulan Setelah Tahap Konstruksi) (Model 1)

Alternatif Tahapan Kosntruksi



Gambar 25. *Layout Detail* Timbunan dan PVD

Berdasarkan hasil analisis desain timbunan yang telah dilakukan dan untuk mengatasi permasalahan gaya lateral yang besar dan mungkin berpotensi terjadi, maka berikut adalah tahapan konstruksi secara keseluruhan yang direkomendasikan.

a) Alternatif 1

Tahapan penimbunan bertahap dan PVD sangat direkomendasikan dilakukan terlebih dahulu sampai selesai seluruh tahapan pada area timbunan dan setelahnya dapat dilanjutkan dengan pemasangan *slab on pile* pada area jalan. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya pergerakan tiang atau gangguan akibat gaya lateral yang besar

apabila *slab on pile* dipasang terlebih dahulu/bersamaan dengan tahap penimbunan dan PVD. Alternatif ini adalah alternatif yang relatif paing aman namun memerlukan waktu lebih lama.

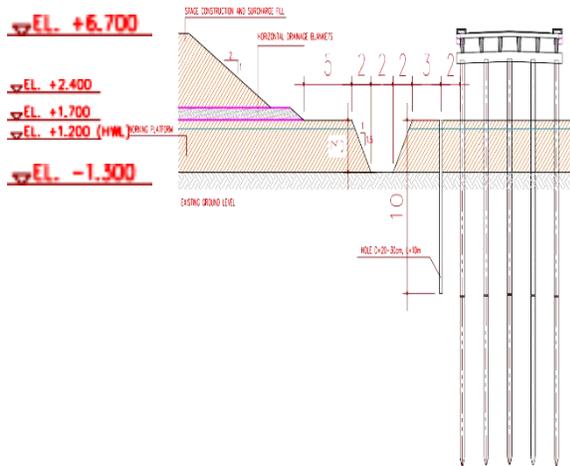
b) Alternatif 2

Apabila akibat kendala waktu dan hal lainnya dimana *slab on pile* tidak memungkinkan dipasang setelah tahap penimbunan dan PVD selesai, maka jarak aman yang direkomendasikan antara area *slab on pile* dengan area penimbunan adalah > 40 meter.

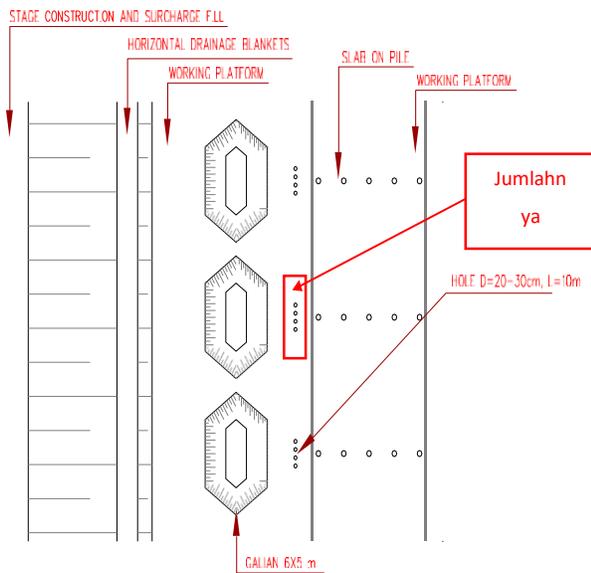
c) Alternatif 3

Apabila alternatif 1 dan alternatif 2 tidak memungkinkan untuk dilakukan, maka direkomendasikan jarak aman antara struktur *slab on pile* dengan timbunan adalah minimal 16 meter. Alternatif ini mensyaratkan membuat galian sepanjang struktur *slab on pile* pada jarak 5 meter dari timbunan dan pembuatan lubang bor diameter 20-30 cm sedalam 10 meter.

Untuk penentuan jumlah dan kedalaman lubang releasing bor perlu dilakukan trial/pengamatan yang mendalam pada saat awal-awal konstruksi di lokasi yang jauh dengan struktur tapi dekat dengan titik inklinometer. Hasil dari pengamatan/trial awal ini akan menjadi dasar untuk adjusment di lokasi proyek yang lain. Monitoring inklinometer perlu dipantau dari tahap penimbunan bertahap dimulai. Jumlah releasing bor bergantung kepada kebutuhan (hasil bacaan inklinometer). Dalam hal ini diperlukan seorang *geotechnical engineer* untuk memantau Monitoring inklinometer dan yang mampu menentukan jumlah releasing bor yang dibutuhkan.

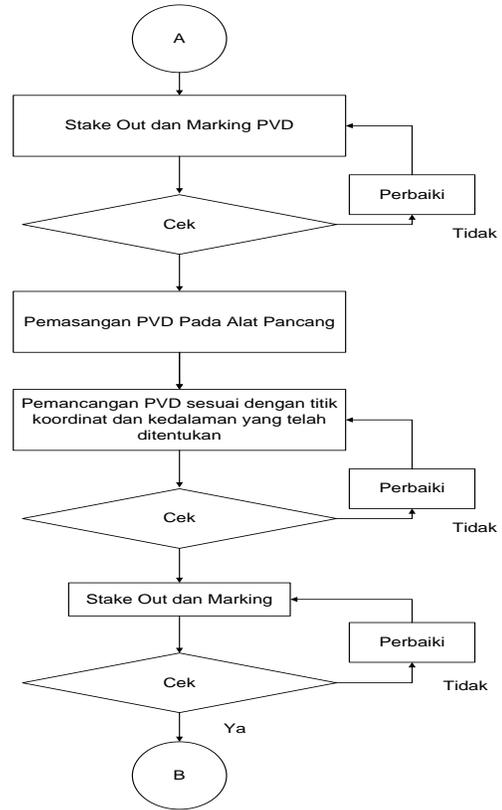


Gambar 26. Ilustrasi Rekomendasi Galian (Tampak Samping)



Gambar 27. Ilustrasi Rekomendasi Galian (Tampak Atas)

Metode Pelaksanaan PVD (Pre Fabricated Vertical Drain)



Gambar 28. Metode Kerja PVD

Biaya Pelaksanaan PVD (Pre Fabricated Vertical Drain)

Tabel 10. Harga Satuan Pelaksanaan Pekerjaan Metode PVD

| No. | Uraian Pek. | Sat. | Vol. | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga Satuan (Rp) |
|-----|---------------------------|------|---------|-------------------|--------------------------|
| 1. | Pengadaan PVD | M1 | 714.000 | 4.450,00 | 3.177.300.000 |
| 2. | Pemasangan PVD | M1 | 714.000 | 3.500,00 | 2.499.000.000 |
| 3. | Instrumen PVD (Geoteknik) | Ls | 1 | 3.350.000.000,00 | 3.350.000.000 |

| | | | | | |
|----|----------------------|----|------------|----------------|--------------------|
| 4. | Pasir Sandbl anket | M3 | 23.3 38 | 513.326,0 0 | 11.980.172 .520 |
| 5. | Geotextile Non Woven | M2 | 88.4 69 | 38.300 | 3.388.363. 849 |
| | | | Total | 24.394.836 | .369 |

KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi Value Engineering Perubahan Metode kerja Cerucuk bambu menjadi *Pre Fabricated Vertical Drain* (PVD) pada Proyek Bandara A.Yani, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Waktu Konsolidasi tanah lebih cepat sebesar 90 % dalam waktu 3 bulan sedangkan dengan metode cerucuk bamboo terjadi sliding / kegagalan pada tinggi 4 m.
2. Pengendalian mutu konsolidasi lebih akurat Metode PVD menggunakan alat instrumentasi geoteknik yang ditanamkan pada area PVD.
3. Pengaturan Metode PVD site manajemen lapangan lebih mudah dikarenakan lahan ditimbun dengan tanah terlebih dahulu sehingga *stock yard* berada diatas tanah.

Dan *Value Engineering* dari Proyek Bandara A.yani sebagai berikut :

1. Biaya Pelaksanaan dengan Metode PVD lebih efisien sebesar Rp. 24.353.541.203.
2. Pelaksanaan Pekerjaan Metode PVD lebih mudah menggunakan material urugan tanah pilihan
3. Pelaksanaan Penyelesaian Proyek sesuai jadwal dikarenakan struktur tanah mengalami konsolidasi lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widhiarto Herry, Endah Fatmawati Laily, Beatrix Michella. Jurnal Penelitian LPPM Untag Surabaya. (2018)
- [2] Noor Endah Mochtar. Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah (RC09-1402): Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya. (2012)
- [3] Chundawan, Erick. *Model Sumber dan Penyebab Rework pada Tahapan Proyek Konstruksi*. Tesis. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. (2014)
- [4] Herdianto, Ardhan, dan Tanjungsari, Ayunda D. R., Evaluasi Pengerjaan Ulang (*Rework*) pada Proyek Konstruksi Gedung di Semarang, Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. (2015)
- [5] Nugraha, Riyanto. Analisis Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Pik. Mall dan Hotel Untuk Acuan Pengendalian Pelaksanaan Proyek Tahap Berikutnya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana. (2015)
- [6] Nurdiani, Nina, Pekerjaan Pondasi Tiang Pancang: Cara Pemancangan, Kendala Dan Teknologi Terbaru. Architecture Department, Faculty of Engineering, Binus University. (2013)
- [7] Siswanto, Muhammad. Analisis Penyebab *Time Delays* dan *Cost Overruns* Dalam Pelaksanaan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung di Kota Banda Aceh. Universitas Syiah Kuala. (2015)