

KAJIAN TEKNIS PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI *VACUUM* DAN *PRELOADING* DENGAN PVD DAN PHD PADA AREA *CONTAINER YARD* PELABUHAN TERMINAL KIJING KALIMANTAN BARAT

HENKY ADI BERLIANO
UNIVERSITAS TANJUNG PURA

Abstrak

Tanah lempung lunak merupakan jenis tanah dengan kuat geser kecil, koefisien permeabilitas kecil, dan kompresibilitas besar, serta daya dukung rendah. Kondisi tanah dasar area Container Yard Pelabuhan Terminal Kijing Mempawah sebagian besar berupa tanah lempung lunak pada kedalaman 4-10 meter, sehingga diperlukan perbaikan pada tanah dasarnya. Dalam penelitian ini digunakan metode kombinasi Vacuum dan preloading dengan PVD dan PHD untuk meningkatkan kuat geser tanah, mengurangi kompresibilitas tanah dalam menahan beban rencana, dan besaran penurunan yang terjadi pada masa operasional (post-settlement) sesuai kriteria. Beban operasional direncanakan 20kPa (beban perkerasan) + 70kPa (beban container 6+1 tiers). Tekanan vacuum direncanakan 80kPa (setara tinggi timbunan 4.2m) dengan kombinasi tinggi tanah timbunan (soil preloading) sebesar 5,03m. Adapun tinggi penurunan direncanakan 1.7m dengan target konsolidasi 90% waktu tunggu preloading 120 hari. Berdasarkan hasil implementasi di lapangan, hasil monitoring penurunan settlement plate selama proses perbaikan tanah dilakukan analisa derajat konsolidasi menggunakan metode Asaoka didapat hasil rata-rata sebesar 94.0%, dengan total penurunan yang terjadi sebesar 1.218m dan sisa penurunan diestimasi sebesar 0.078m. Hasil perhitungan load ratio sebesar 1.35 (>1.2), hasil pengujian CPT peningkatan nilai qc rata-rata dari 0.5Mpa menjadi 3.0Mpa. Berdasarkan hasil analisa tersebut menunjukkan metode perbaikan tanah yang dipilih sangat efektif untuk meningkatkan kuat geser tanah.

Kata kunci: Perbaikan Tanah, Vacuum, Preloading, PVD, PHD, Metode Asaoka

Abstract

Technical Study on Soft Soil Improvement Using The Combination of Vacuum and Preloading Methods Along With PVD and PHD In The Container Yard Area at Kijing Terminal Port, West Kalimantan. Soft clay soil is a type of soil with small shear strength, small permeability coefficient, large compressibility, and low bearing capacity. The subgrade conditions at Kijing Mempawah Terminal Port are mostly soft clay soil at a depth of 4-10 meters, so improvement is needed in the base soil. In this study, a combination method of vacuum and preloading with PVD and PHD is used to increase the shear strength of the soil, reduce of the soil compatibility to withstand the design loads, and the amount of reduction that occurs during the operational period (post-settlement) according to the criteria. The operational load is planned to be 20kPa (pavement load) + 70kPa (6+1 tiers of container load). The vacuum pressure is planned to be 80kPa (equivalent to 4,2m of landfill height) with a combination of soil preloading of 5.03m. The end of the decline is planned at 1.7m with a consolidation target of 90% preloading waiting time of 120 days. Based on the results of the implementation in the field, the results of the monitoring of settlement plate during the soil improvement process were carried out by analyzing the degree of consolidation using the Asaoka method obtained an average result of 94.0%, with a total decrease of 1,218m and an estimated remaining decline of 0.078m. The load ratio calculation results are 1.35 (> 1.2), the CPT test results increase the average QC value from 0.5 Mpa to 3.0 Mpa. Based on the results of the analysis, it proves that the soil improvement method chosen is very effective in increasing the shear strength of the soil.

Keywords: Soil Improvemet, Vacuum, Preloading, PVD, PHD, Asaoka Method

1. Pendahuluan

Adanya lapisan tanah lunak pada kondisi tanah asli akan menghadapi beberapa permasalahan geoteknik antara lain berupa kapasitas daya dukung tanah yang rendah, serta penurunan (*settlement*) yang terjadi cukup besar. Akibat dari kapasitas daya dukung yang rendah serta terjadinya penurunan yang cukup besar, maka akan terjadi kegagalan pada struktur yang dibangun di atasnya, oleh sebab itu perbaikan tanah atau pekerjaan tanah diperlukan untuk meningkatkan kuat geser tanah dan mengurangi kompresibilitas tanah dalam menahan beban rencana. Pada penelitian ini berisi penjelasan mengenai rencana pembebanan, hasil penyelidikan tanah, analisa penurunan dan stabilitas tanah, serta perencanaan perbaikan atau perkuatan tanah yang dilakukan di area *Container Yard* (CY)-Zona 1 pada Proyek Pembangunan Terminal Kijing Mempawah, dengan luas area perbaikan tanah sebesar 2.3 Ha. Perencanaan lantai area penumpukan *container* berada di elevasi +3,50 m LWS dengan kondisi tanah eksisting berada pada elevasi bervariasi ± 1.50 meter. Dari selisih elevasi rencana dan eksisting maka diperlukan penimbunan tanah sebesar 2 meter (tanpa perbaikan tanah), diketahui karakteristik tanah sangat lunak hingga lunak dengan ketebalan variasi antara 4-10 meter, sehingga dengan kebutuhan timbunan setebal 2 meter untuk mencapai tinggi rencana sangat diperlukan perbaikan tanah.

2. Tinjauan Pustaka

Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah yang jika tidak diselidiki secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditoleransi. Hal tersebut dikarenakan tanah lunak memiliki daya dukung dan kuat geser yang rendah. Tanah lunak dibagi dalam 3 tipe, yaitu pasir lepas, lempung lunak, dan gambut. Tanah pasir lepas mempunyai harga pengujian penetrasi standar (standart penetration test) $N \leq 10$. Tanah lempung lunak mempunyai harga $N \leq 4$ dan tanah *organic* atau gambut mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi.

Konsolidasi dan Penurunan

Teori konsolidasi satu dimensi yang dipaparkan oleh Terzaghi (1943), mengasumsikan umumnya beban yang bekerja atau deformasi tanah terjadi pada arah vertikal saja, hal ini tentu saja berpengaruh dengan hasil perhitungan penurunan. Pada kondisi yang sebenarnya

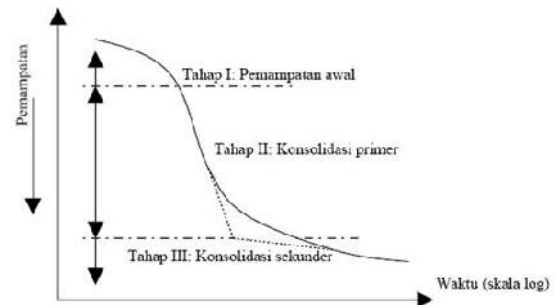
deformasi dapat terjadi ke segala arah, sehingga deformasi yang terjadi akan terdistribusi ke segala arah dan menyebabkan nilai penurunan akan lebih kecil. Penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dibagi menjadi 3, diantaranya :

1. Penurunan Seketika (*immediate settlement / S_i*), yaitu penurunan yang terjadi seketika saat beban diberikan sehingga deformasi yang terjadi pada tanah tidak disertai dengan perubahan *volume*.
2. Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement / S_c*) penurunan pada tanah kohesif yang diakibatkan terdisipasinya tegangan air berlebih di dalam tanah, dan menghasilkan perubahan dari segi *volume*.
3. Penurunan Rangkap/Sekunder (*Secondary Settlement / S_s*), yaitu Penurunan terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan dan biasanya terjadi sangat lama.

Dengan demikian, penurunan total (ST) dari suatu tanah yang dibebani dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S_T = S_i + S_c + S_s \quad (1)$$

Sehingga didapat grafik hubungan antara penurunan dan waktu penurunan.



Gambar 1. Grafik hubungan antara penurunan dan waktu penurunan.

Metode Perbaikan Tanah

Teknik perbaikan tanah merupakan tindakan stabilisasi tanah dengan memperbaiki karakteristik tanah yang asli, hingga memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan oleh suatu pekerjaan konstruksi, seperti peningkatan daya dukung dan kuat geser tanah, penurunan kompresibilitas tanah, peningkatan atau penurunan permeabilitas tanah, dan lain sebagainya. Stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni:

1. Stabilisasi tanah melalui teknik perbaikan tanah (*Soil improvement*).
2. Stabilisasi tanah melalui teknik perkuatan tanah (*Soil reinforcement*).

Henky Adi Berliano.

E-mail: henky.berliano@yahoo.com

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam memilih jenis dan tipe perbaikan tanah yang akan diterapkan pada setiap tindakan perbaikan tanah, diantaranya :

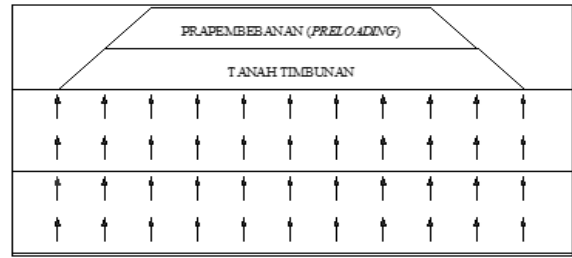
1. Jenis dan karakteristik tanah, termasuk sifat-sifat kimia dan fisik, termasuk mineralogi tanah yang akan diperbaiki;
2. Jenis dan karakteristik konstruksi yang akan dibangun, terutama beban konstruksi;
3. Parameter tanah yang perlu diperbaiki, sesuai kebutuhan konstruksi;
4. Kedalaman lapisan tanah yang akan diperbaiki;
5. Sifat kimia dan sifat fisik dari bahan *stabilizer* yang akan digunakan;
6. Harga bahan *stabilizer* yang akan digunakan, terutama dikaitkan dengan efisiensi biaya perbaikan.
7. Ketersediaan bahan dan peralatan di lokasi perbaikan tanah; dan
8. Kondisi lingkungan di sekitar (*existing environmental*).

Perbaikan Tanah dengan Metode Konsolidasi (*Preloading*)

Perbaikan tanah dengan metode konsolidasi secara umum adalah upaya yang dilakukan dengan memampatkan beban statis yang bersifat sementara (*preloading*) di atas lapisan tanah yang diperbaiki. Dengan memampatkan beban statis tersebut diharapkan tanah mengalami pemadatan akibat beban tersebut, dan dapat meningkatkan kuat geser pada lapisan tanah tersebut. Metode perbaikan tanah dengan menggunakan metode konsolidasi membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk mempersingkat waktu yang digunakan, biasanya dilakukan kombinasi antara beberapa metode lain sebagai berikut :

- a) *Preloading* tanpa *drainase vertical*;
- b) *Preloading* dengan *drainase vertical*;
- c) *Preloading* dengan *drainase vertical* dan *vacuum preloading*;
- d) *Dewatering*; dan
- e) Metode elektrokinetik.

Metode prapembebanan (*preloading*) adalah untuk mereduksi penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah (berkonsistensi rendah) terlebih dahulu sebelum dilaksanakannya suatu pekerjaan konstruksi. Setelah total penurunan konsolidasi primer selesai atau sangat kecil, baru kemudian beban tanah dibongkar (*unloading*) dan struktur dibangun di atas tanah tersebut.



Gambar 2. Konsolidasi dengan *preloading* (tanah timbunan).

Untuk tinggi timbunan kritis beban *preloading* dapat dihitung berdasarkan daya dukung tanah lempung/lunak mula-mula. Kekuatan geser tanah lempung, dalam hal ini kohesi tanah akan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan dipergunakan. Daya dukung tanah lempung/lunak dalam perencanaan beban *preloading* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

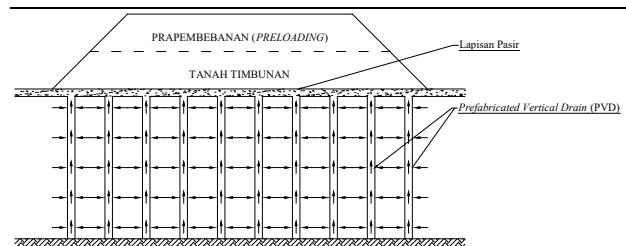
$$H_{cr} = \frac{2 \times C_u}{\gamma_{timbunan}} \quad (2)$$

Dimana :

- C_u = Kohesi tanah dasar (t/m^2)
- $\gamma_{timbunan}$ = Berat volume tanah timbunan (t/m^3)
- H_{cr} = Tinggi timbunan kritis (m)

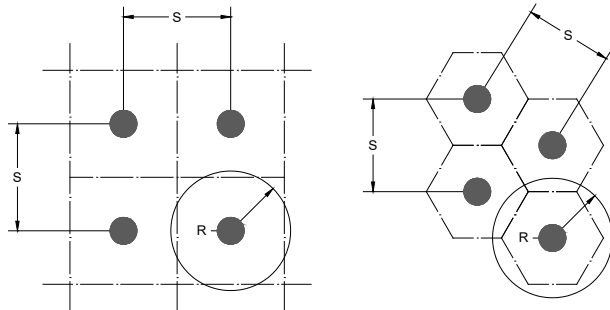
Prefabricated Vertical Drain (PVD)

PVD berfungsi untuk merubah nilai tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) pada tanah dan dapat mengurangi waktu konsolidasi (*time rate of settlement*). *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* terdiri dari *inti core* dan *filter jacket*. *Inti core/drain core* adalah bagian dalam PVD, berupa suatu plastik bergerigi pipih memanjang yang berfungsi sebagai tempat lintasan air. Selain itu *filter jacket/drain jacket* berupa selaput *syntetic drainage* yang bersifat *non-woven* atau *geotextile* berfungsi sebagai *filter*. Air yang mengalir keluar dari massa tanah akibat adanya *preloading*, bergerak dalam arah *radial/horizontal* menuju PVD. Kemudian air diteruskan melalui *inti core* dalam arah vertikal ke arah permukaan, dan selanjutnya diteruskan oleh *prefabricated horizontal drain (PHD)* untuk mengalirkan air ke arah lateral.



Gambar 3. *Drainase vertical-prefabricated vertical drain (PVD)*

Umumnya terdapat 2 (dua) macam pola pemasangan *prefabricated Vertical Drain* (PVD), yaitu pola segi empat (*square*) dan pola segitiga.



Gambar 4. Pola Pemasangan PVD dan zona yang terpengaruh

Zona yang terpengaruh oleh *drain* (R) nilainya bervariasi tergantung kepada jarak pemasangan *drain* (S), sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$R = 0.546 \cdot S \text{ (PVD-Pola Segi Empat)} \quad (3)$$

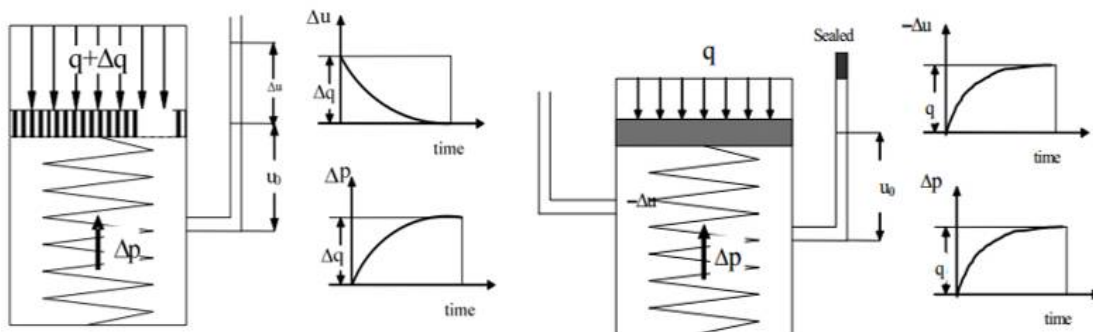
$$R = 0.525 \cdot S \text{ (PVD-Pola Segi Tiga)} \quad (4)$$

Waktu konsolidasi yang dibutuhkan dengan menggunakan PVD dapat dianalisa menggunakan persamaan menurut Baron (1948).

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \times Ch} \right) \times F(u) \times \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (5)$$

Dimana :

- t = Waktu konsolidasi untuk mencapai U_h
- D = Diameter ekuivalen dari daerah pengaruh PVD
- Ch = Koefisien konsolidasi arah *radial/horizontal*
- U_h = Derajat konsolidasi akibat aliran arah *radial*



Gambar 5. Analogi pegas untuk *vacuum* konsolidasi (kiri oleh timbunan, kanan oleh beban *vacuum*)

Apabila dijadikan persamaan, maka analogi pegas untuk konsolidasi dengan menggunakan beban timbunan menjadi:

$$\Delta p = q + \Delta q - (u_0 + \Delta u) = \Delta q - \Delta u \quad (6)$$

Harga derajat konsolidasi arah vertikal dapat dicari dengan persamaan berikut:

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

Dimana :

- T_v = Faktor waktu
- t = Waktu yang dipilih
- C_v = Harga C_v tanah pada lapisan tanah setebal panjang PVD
- H_{dr} = Panjang PVD

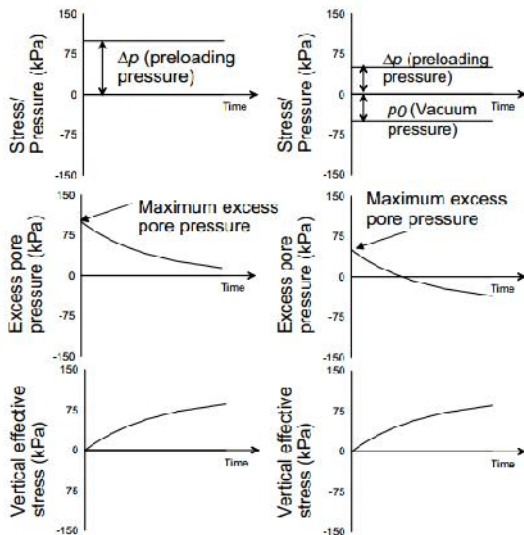
Vacuum Preloading

Vacuum preloading dilakukan dengan cara mendistribusikan tekanan *vacuum* untuk mengeluarkan air pori. Apabila proses *vacuum preloading* dilakukan terhadap massa tanah, maka akan menghasilkan nilai *negative excess pore water pressure*. Ketika nilai tegangan total pada tanah tidak berubah, nilai *negative pore pressure* yang terjadi pada saat nilai tegangan efektif meningkat tersebut akan menyebabkan terjadinya konsolidasi. Tekanan *vacuum preloading* yang umumnya diberikan berkisar antara 80 kPa – 90 kPa. Keterkaitan antara sistem *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *vacuum* adalah di mana PVD didesain untuk mendistribusikan tekanan *vacuum* ke lapisan dalam tanah untuk meningkatkan konsolidasi dari area reklamasi (e.g Chu et al. 2000; Indrarnatna et al. 2005). Mekanisme *vacuum* ini bisa dijelaskan dengan analogi pegas yang dideskripsikan oleh Chu dan Yan (2005), dimana tegangan efektif bertambah akibat tekanan hisap (negatif), sedangkan tegangan total tidak berubah.

Sedangkan analogi pegas untuk beban dengan tekanan *vacuum* adalah:

$$\Delta p = q - (u_0 - \Delta u) = \Delta u \quad (7)$$

Dengan *vacuum preloading*, tegangan yang terjadi terdiri dari 2 bagian yaitu tekanan *vacuum* dan tegangan tanah lateral. Chai et al. (2008) mendemonstrasikan kemungkinan adanya area tanah lempung menggunakan gabungan *cap drain* dengan *vacuum* dan permukaan tanah sebagai lapisan *sealing*, sebagai pengganti lapisan *membrane* pada permukaan tanah. Namun, efisiensi dari metode ini bergantung pada permukaan tanah pasir yang terpengaruh oleh tekanan dari lapisan lolos air berupa pasir dan diskontinuitas dari tanah.



Gambar 6. Proses konsolidasi (kiri system *preloading* biasa, kanan system *vacuum preloading*)

Stabilitas Lereng dan *Finite Element Method* (FEM)

Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Plaxis yang dalam perhitungannya menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah cara pendekatan solusi analisis struktur secara numerik dimana struktur kontinu dengan derajat kebebasan tak-hingga disederhanakan dengan diskretisasi kontinu ke dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga). Hasil analisis menggunakan metode elemen hingga bergantung dari pemilihan model yang dapat menentukan perilaku *nonlinear* dari tanah secara lebih *realistis*. Sehingga dapat dijelaskan bahwa angka keamanan didefinisikan sebagai rasio antara kuat geser aktual dengan kuat geser minimal yang dibutuhkan pada kondisi seimbang. Berdasarkan kondisi keruntuhan *Mohr-Coulomb* selanjutnya, dapat dinyatakan sebagai berikut :

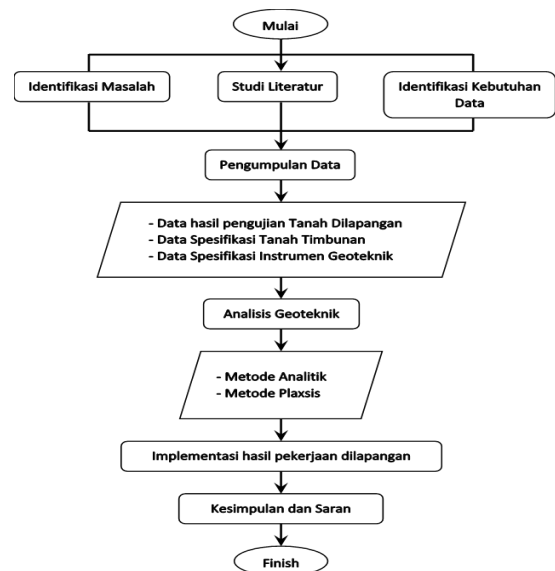
$$SF = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_r + \sigma \tan \phi_r} \quad (8)$$

Dimana c_r dan ϕ_r adalah parameter kuat geser terkurangi (*reduced shear strength*). Pengurangan parameter dilakukan secara bertahap sampai mencapai kondisi keruntuhan.

3. Metodologi Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

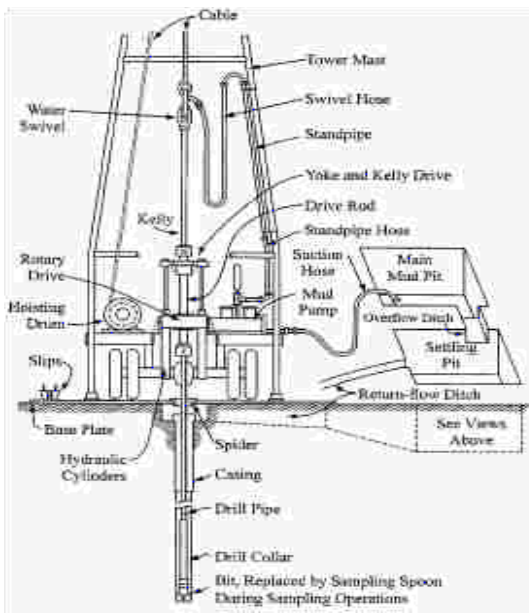
1. Dimulai dari persiapan, seperti identifikasi kebutuhan data, identifikasi masalah, dan menyiapkan studi pustaka yang akan digunakan sebagai referensi;
2. Analisa dilakukan dengan metode analitik dan metode numerik menggunakan bantuan program Plaxis model *plane strain* dan *soil model mohr-coulomb*. Analisis menggunakan kondisi tanah yang sudah diperbaiki dengan PVD yang dikombinasi dengan *vacuum preloading*;
3. Dilanjutkan dengan melakukan perbandingan hasil analisa terkait total besar penurunan tanah dan lama waktu penurunan tanah, dibandingkan dengan pelaksanaan pekerjaan perbaikan tanah dari hasil monitoring yang dilakukan di lapangan;
4. Kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan yang dilakukan sebagai hasil akhir dari penelitian, untuk selanjutnya diberikan saran.



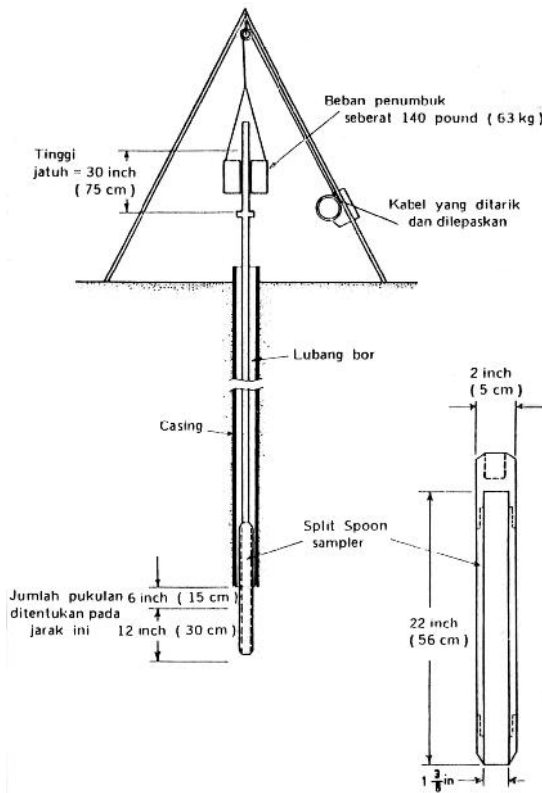
Gambar 7. Diagram alir pekerjaan

Identifikasi Hasil Penyelidikan Tanah Lapangan

Metode penyelidikan tanah yang digunakan dalam analisis adalah *Deep Boring* (DB) yang dilakukan bersamaan dengan uji *Standart Penetration Test* (SPT).



Gambar 8. Alat pengeboran Rotary Boring Machine



Gambar 9. Alat Standart Penetration Test

4. Analisa dan Pembahasan

Hasil Penyelidikan Tanah Lapangan dan Rencana Pembebanan

Data tanah yang digunakan dalam analisis adalah hasil uji Deep Boring (DB) untuk area sec-CY-

Z1 (Zona 1) terdapat sebanyak 2 titik dari 10 titik (BH01 dan BH02), dihasilkan profil lapisan tanah dasar berupa tanah sangat lunak hingga lunak pada kedalaman 4 – 10 meter.

Elevasi tanah darat *existing* rata-rata berada pada +1.5 mLWS sedangkan elevasi rencana ditentukan pada elevasi +3.5 mLWS. Timbunan darat area *container yard* didesain untuk menahan beban operasional sebesar 20+70 kPa, dimana beban 20 kPa adalah beban perkerasan dan 70 kPa adalah penumpukan kontainer 6 tier+1 tier safety factor.

Tabel 1. Beban Operasional Terfaktor

NO	URAIAN	NILAI	SAT
1	Elevasi Tanah dasar (menyesuaikan kondisi eksisting)	+ 0.00	m.LWS
2	Tinggi Timbunan Leveling Rencana Top Subgrade	1.17	m
3	Elevasi Top Subgrade	+ 1.17	m.LWS
4	Tebal Perkerasan (20 KN/m ² : 24 KN/m ³)	0.83	m
5	Berat Volume Tanah Timbunan	19	kN/m ³
6	Berat Volume Perkerasan	24	kN/m ³
7	Beban Timbunan Leveling dan Perkerasan	42.15	kN/m ²
8	Beban Operasional	70.00	kN/m ²
9	Total Beban Operasional	112.15	kN/m ²
10	Beban Preload Butuh (1.2 * 112.15 kN/m ²)	134.58	kN/m ²
11	Tinggi Timbunan Subgrade dan Preloading	5.91	m
12	Tinggi Timbunan Preload (5.91 m + 1.17 m)	7.08	m

Analisa Rencana Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Vacuum dan Preloading dengan PVD dan PHD

Vacuum Consolidation Method (VCM) terdiri dari sistem drainase vertikal melalui *Perforated Vertical Drain* (PVD) dan sistem drainase horisontal menggunakan *Perforated Horizontal Drain* (PHD) sehingga dapat mengatasi keterbatasan dari metode timbunan *preloading*. Drainase *horizontal* dengan menggunakan pasir tidak perlu digunakan, namun penimbunan *platform* kerja menggunakan tanah *quarry* akan tetap dilakukan, agar proses instalasi drainase vertikal (PVD) dapat dilaksanakan. Pemasangan *geotextile* pada lapisan tanah dasar dapat dilakukan (*optional*) apabila kondisi kadar air dan muka air tanah dasar tidak memungkinkan untuk dilakukan pembebanan secara langsung. Keseluruhan sistem kemudian ditutup dengan *geomembrane* sebagai *airtight sheet* agar kedap terhadap udara maupun air. *Geomembrane* tersebut selanjutnya dikunci kedalam lapisan kedap di sekeliling area yang akan di *Vacuum*.

Timbunan pertahap tidak perlu dilakukan, karena dengan adanya beban *Vacuum* yang bekerja, tanah dasar mengalami kenaikan tekanan efektif. Selain itu, tekanan *Vacuum* mengakibatkan konsolidasi terjadi secara isotropik, yang berarti kenaikan tekanan sama baik secara *horizontal* maupun vertikal, dan tanah tidak akan mengalami masalah *expansive*. Hal ini menyebabkan stabilitas lereng menjadi lebih aman

dibandingkan dengan penimbunan bertahap. Beban *Vacuum* yang diaplikasikan adalah sebesar 80 kPa.

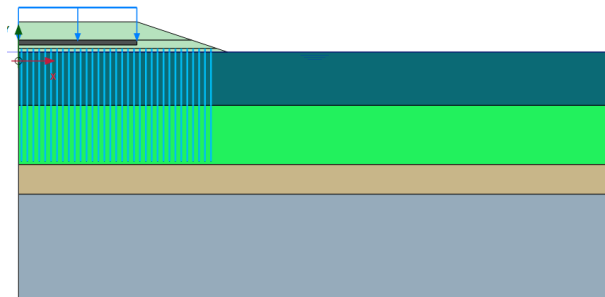
Penimbunan pada area pembebanan 20+70 kPa dilakukan hingga timbunan final mencapai ketinggian 5.02 meter yang terdiri dari timbunan ekuivalen beban *leveling* sebesar 1.17 meter, ditambah beban *preloading* setinggi 1.70 meter serta kompensasi penurunan setinggi 2.15 meter.

Tabel 2. Rekapitulasi Tinggi Timbunan dengan *Vacuum*

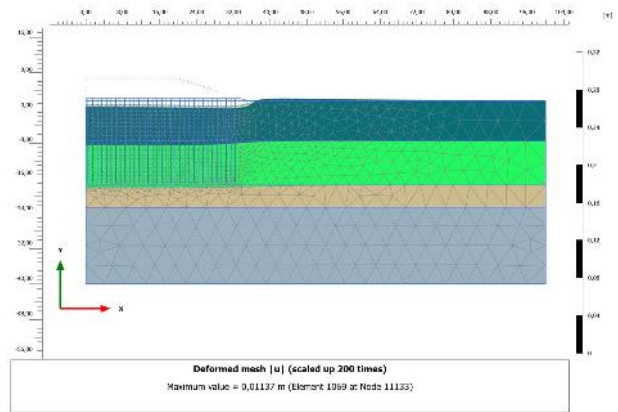
NO	URAIAN	NILAI	SAT
1	Penurunan Elastik (Se)	0.19 m	
2	Penurunan Konsolidasi (Sc)	1.96 m	
3	Total Penurunan 100% (Se+Sc)	2.15 m	
4	Penurunan Konsolidasi 90% (S90)	1.94 m	
5	Tinggi Total Tanah Timbunan (2.15 m + 2.87 m)	5.02 m	
6	Elevasi Top Timbunan (+0.00 m.LWS + 5.02 m)	+ 5.02 m.LWS	
7	Penurunan Digunakan (Se+S90)	1.94 m	
8	Elevasi Top Timb. Setelah Konsolidasi 90% (6.52 m - 1.94 m)	+ 4.58 m.LWS	
9	Tebal Cutting (4.58 m - 2.67 m)	1.91 m	

Tahapan konstruksi dilakukan sebagai berikut :

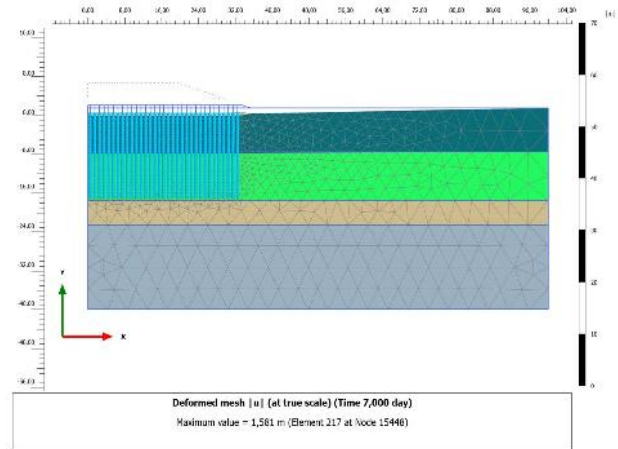
1. Instalasi PVD dan aktivasi beban *Vacuum* diasumsikan berlangsung selama 7 hari. Pembebanan *Vacuum* diaktifkan selama masa konstruksi berlangsung sampai dengan konsolidasi mencapai lebih dari 90%.
2. Penimbunan tanah secara langsung sesuai dengan kecepatan konstruksi di lapangan.
3. Konfigurasi PVD menggunakan konfigurasi persegi dengan spasi 1 meter. Waktu tunggu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% dengan menggunakan PVD adalah selama 1.5 bulan.
4. Penentuan parameter ekuivalen untuk keperluan analisis menggunakan metode elemen hingga dilakukan baik untuk parameter modulus elastisitas maupun permeabilitas tanah dasar menggunakan cara iterasi, dengan menyesuaikan nilai permeabilitas arah *horizontal* dan vertikal (k_x dan k_y).



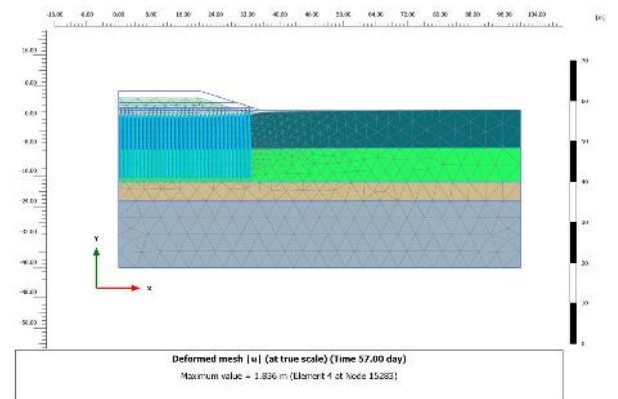
Gambar 10. Model potongan melintang *Vacuum*



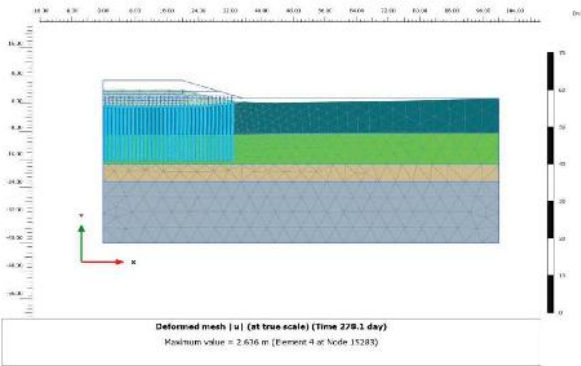
Gambar 11. Mesh deformasi akibat penimbunan platform kerja



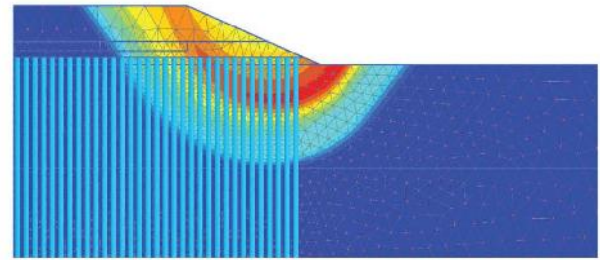
Gambar 12. Mesh deformasi akibat *Vacuum*



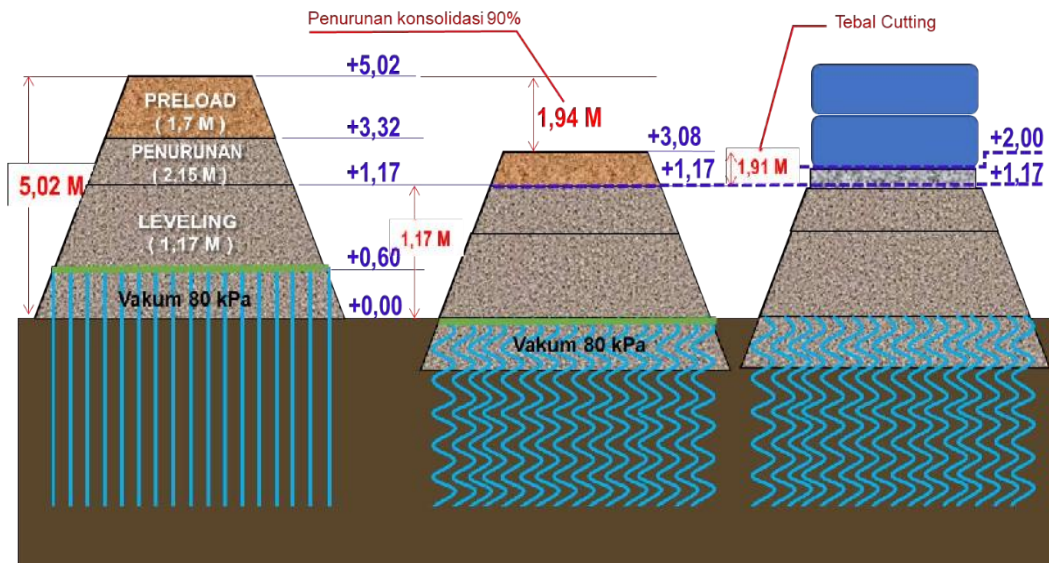
Gambar 13. Mesh deformasi penimbunan sampai elevasi +6.6 m LWS



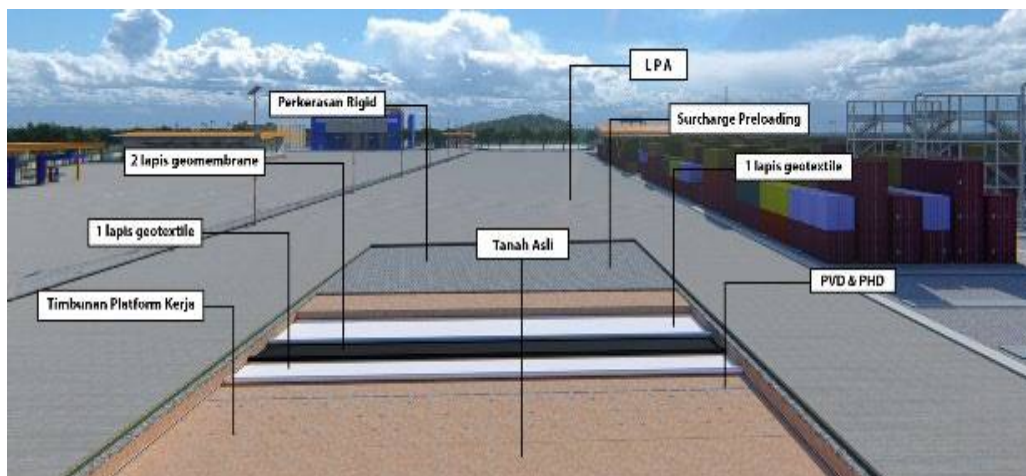
Gambar 14. Mesh deformasi konsolidasi 1.5 bulan



Gambar 15 Kontur deformasi lereng setelah timbunan dan Vacuum SF=1.24



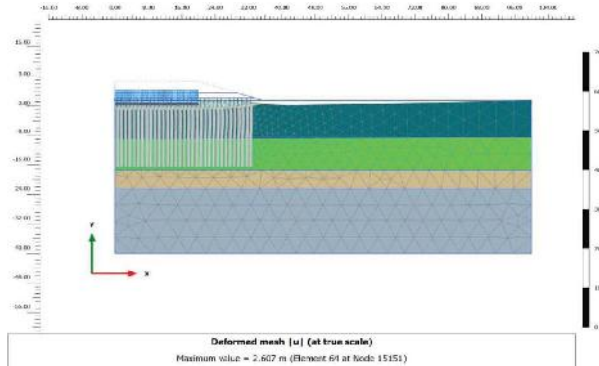
Gambar 16. Sketsa pekerjaan timbunan area Container Yard



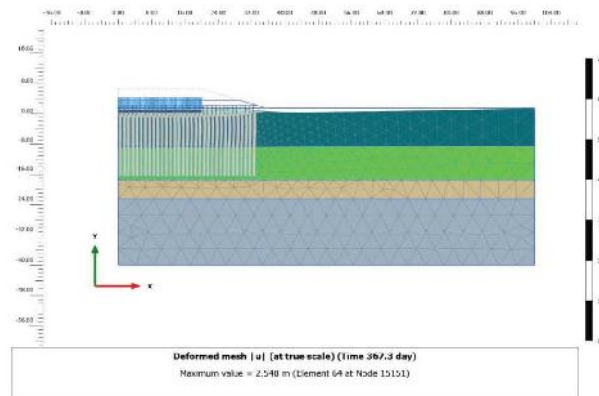
Gambar 17. Sketsa potongan lapisan rencana lantai lapangan penumpukan

Faktor Keamanan Masa Operasional

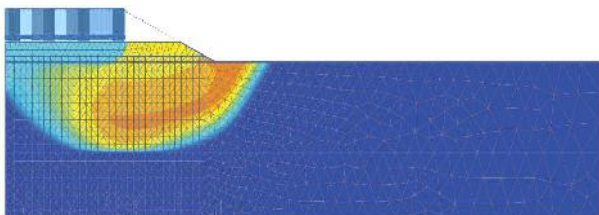
Area CY akan direncanakan untuk menahan beban operasional sebesar 20 kPa (beban *subgrade*) +70 kPa (beban *container*). Tanah yang telah diperbaiki pada area ini harus dapat menahan beban tersebut dan aman secara teknis. Perencanaan tinggi tanah yang harus dikupas pada area ini adalah sebesar 1.91 meter. Setelah pengupasan, dilakukan analisis angka keamanan lereng dengan menambahkan beban operasional. Berikut adalah hasil analisis pada masa operasional.



Gambar 18. Mesh deformasi pembebanan seketika masa operasional



Gambar 19. Mesh deformasi pembebanan jangka panjang masa operasional



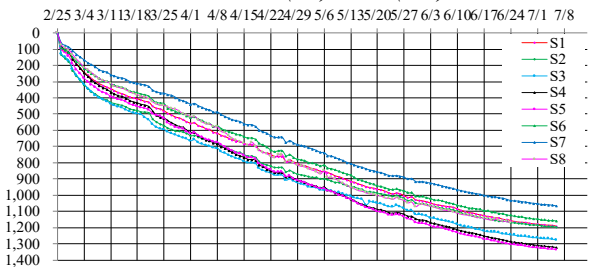
Gambar 20. Kontur deformasi timbunan dan Vacuum kondisi operasional SF=1.99

5. Monitoring Instrumen Perbaikan Tanah

Pada area konstruksi telah dipasang beberapa instrumen geoteknik untuk pengamatan perilaku perbaikan tanah yang diamati setiap hari sebagai berikut:

Settlement Plate

Pada area CY Zona 1 studi pengamatan dimulai dari tanggal 25 Februari 2019, dan berakhir pada 06 Juli 2019, dengan total 132 hari. Penurunan rata-rata pada minggu terakhir tidak lebih dari 2mm, dan total penurunan spesifik ditunjukkan pada grafik di bawah.

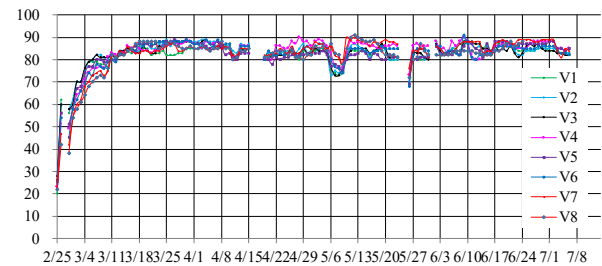


Gambar 21. Grafik penurunan tanah (konsolidasi) pada area Sec-CY-Z1 dari data *settlement plate*

Tabel 3. Resume Hasil Monitoring Settlement Zona 1

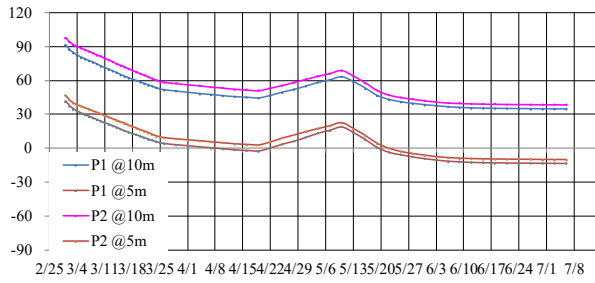
Zone	PVD depth (m)	Settlement No.	Backfill thickness from bottom SP (m)	Total settlement (mm)	Starte date	Finish date	runing days
1	9.0	S1	4.455	1193	2019/2/25	2019/7/6	132
	9.0	S2	4.491	1196	2019/2/25	2019/7/6	132
	9.5	S3	4.541	1275	2019/2/25	2019/7/6	132
	10.0	S4	4.700	1323	2019/2/25	2019/7/6	132
	13.0	S5	4.925	1337	2019/2/25	2019/7/6	132
	10.5	S6	4.615	1158	2019/2/25	2019/7/6	132
	10.0	S7	4.396	1067	2019/2/25	2019/7/6	132
	10.5	S8	4.455	1198	2019/2/25	2019/7/6	132

Vacuum Gauge



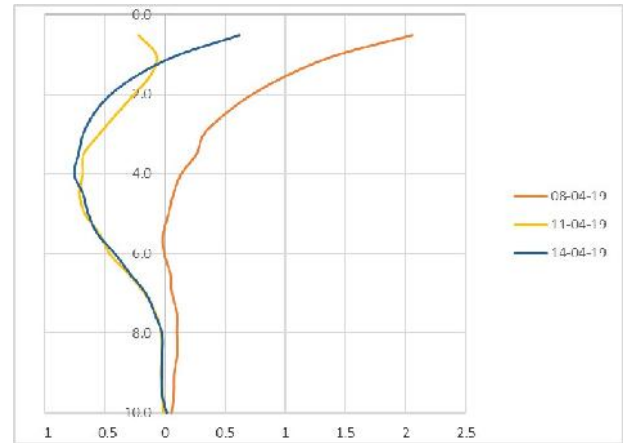
Gambar 22. Grafik tekanan air pori pada area Sec-CY-Z1 dari data Gauge

Piezometer



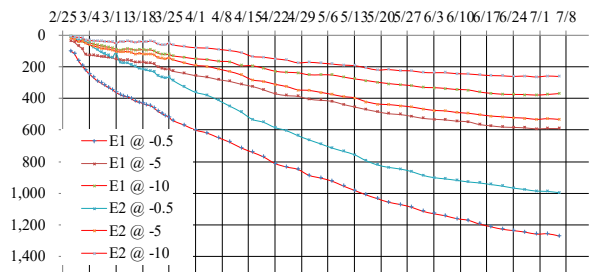
Gambar 23. Grafik tekanan air pori pada area Sec-CY-Z1 dari data *Piezometer*

Extensometer



Gambar 25. Grafik pergerakan tanah arah lateral pada area Sec-CY-Z1 dari data *Inclinometer*

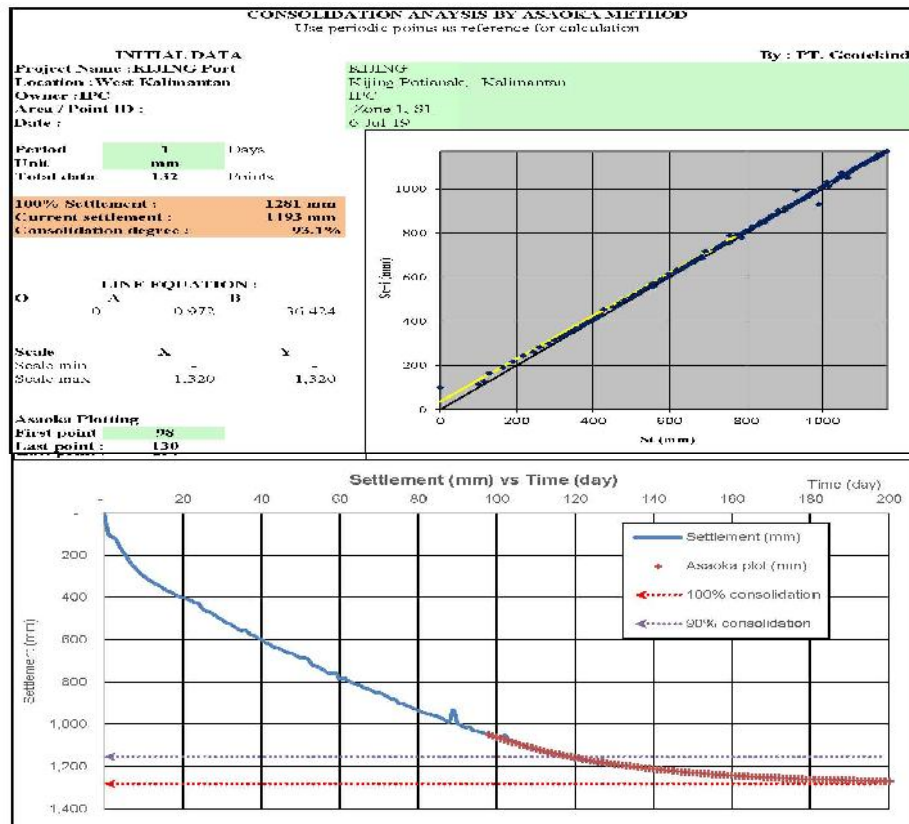
Extenzometer



Gambar 24. Grafik penurunan tanah per layer pada area Sec-CY-Z1 dari data *Extenzometer*

6. Hasil Analisa Konsolidasi Setelah Masa Perbaikan Tanah

Metode perhitungan derajat konsolidasi menggunakan metode analisa Asaoka dengan syarat tingkat konsolidasi tanah tidak kurang dari 90%.



Gambar 26. Perhitungan Asaoka pada *Settlement Plate* no.S1

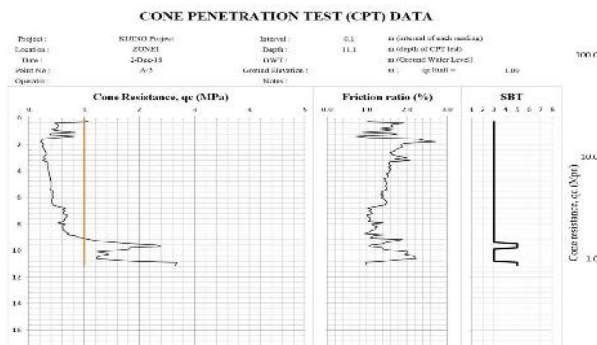
Berikut adalah *resume* hasil perhitungan derajat konsolidasi pasca konstruksi di area *Vacuum+preloading* CY Zona 1. Dari metode Asaoka dihasilkan derajat rata-rata konsolidasi 94% yang artinya memenuhi syarat minimal derajat konsolidasi tanah tidak kurang dari 90%.

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Konsolidasi (Asaoka)

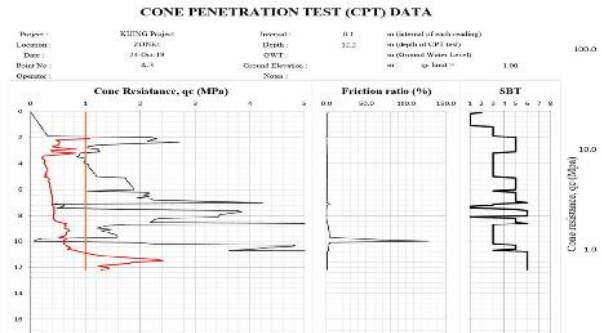
Settlement Plate	Current settlement During Vacuum Running (mm)	Settlement consolidation degree to 100% (mm)	Consolidation Degree
S1	1193 mm	1281 mm	93.1%
S2	1196 mm	1257 mm	95.2%
S3	1275 mm	1311 mm	97.2%
S4	1323 mm	1438 mm	92.0%
S5	1337 mm	1435 mm	93.1%
S6	1158 mm	1245 mm	93.0%
S7	1067 mm	1160 mm	92.0%
S8	1198 mm	1244 mm	96.3%
Average	1218 mm	1296 mm	94.0%

Evaluasi Data Tanah Pasca Perbaikan

Evaluasi perlu dilakukan untuk mengetahui efektifitas pada saat masa perbaikan tanah dilaksanakan. Evaluasi ini ditujukan untuk membuktikan meningkatnya kapasitas kuat geser tanah setelah masa perbaikan mencapai konsolidasi lebih dari 90%, dengan melakukan pengujian CPT pada area yang diperbaiki. Data CPT baru setelah masa perbaikan akan dibandingkan dengan data CPT pada saat perbaikan tanah belum dilaksanakan. Berikut data CPT sebelum dan sesudah masa perbaikan tanah (*soil improvement*).



Gambar 27. Hasil CPT sebelum *soil improvement* pada titik A4



Gambar 28. Hasil CPT setelah *soil improvement* pada titik A4

7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari permodelan perbaikan tanah lunak menggunakan metode kombinasi *Vacuum* dan *preloading* dengan PVD dan PHD, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil *Soil Investigation* pada area *Container Yard* (CY) Zona 1 menunjukkan karakteristik tanah dasar berupa tanah lempung dengan kedalaman bervariasi 4 – 10 meter sehingga diperlukan perbaikan tanah untuk memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.
2. Desain perbaikan tanah yang dipilih adalah metode *preloading* dengan kombinasi *vacuum* dan tanah timbunan dengan perencanaan sebagai berikut:
 - Tekanan *vacuum* = 80 Kpa (setara tinggi tanah timbunan 4,2 meter).
 - Tinggi *preloading* (tanah timbunan) = 5,02 meter.
 - Rencana penurunan dengan target konsolidasi 90% = 1,94 meter.
 - Waktu *preloading* (masa tunggu konsolidasi 90%) = 45 hari.
3. Berdasarkan perhitungan *load ratio*, diperoleh nilai *load ratio* sebesar 1.35 > 1.2.
4. Dari hasil pengujian CPT setelah dilakukan perbaikan tanah didapatkan peningkatan nilai *qc* rata-rata dari 0.5 Mpa menjadi 3.0 Mpa.
5. Berdasar hasil analisa dengan Plaxis menunjukkan bahwa faktor keamanan baik dari saat konstruksi maupun operasional memenuhi syarat, maka dari itu metode ini dapat diaplikasikan untuk memperbaiki tanah pada area pembebanan.

8. Saran

Beberapa saran yang ingin disampaikan sesuai dengan uraian pembahasan, antara lain:

1. Untuk kondisi tanah yang sangat lunak, sangat disarankan untuk dilakukannya perbaikan tanah (*soil improvement*).

2. Metode perbaikan tanah dapat dipilih dengan menggunakan beberapa alternatif yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan kecepatan waktu pembangunan dan juga biaya yang akan dikeluarkan.
3. Metode perbaikan tanah kombinasi *Vacuum* dan *preloading* dengan PVD dan PHD sangat disarankan untuk situasi area dengan rencana pembebanan yang tinggi diatas (80 Kpa) dan membutuhkan waktu pelaksanaan yang relatif singkat.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Tanjung Pura yang telah mendanai keberlangsungan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Braja M, Das. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: *Gadjah Mada University Press*.
- Meiwa, S. (2015). Analisis Konsolidasi dengan PVD untuk Kondisi Axisymmetric dan Beberapa Model Ekuivalen Plane Strain Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Journal of Institut Teknologi Nasional, Jurusan Teknik Sipil*.
- Mochtar, N. E.. (2012). Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah. Surabaya: *Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS*.
- Nadya Utami Rivanga, I. N. (2018). Analisa *Vacuum Consolidation* pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak dengan Model Axisymetry. *Journal of Institut Teknologi Nasional, Jurusan Teknik Sipil. Vol.4 (IV)*.
- Puspita, N. (2017). Analisa Penurunan Tanah Lunak dengan Beberapa Metode Konsolidasi pada Proyek Jalan Tol Palindra. *Vol.6 (VI). Journal of Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya* Hlm. 2477-4863.
- Raden Wahyu M., H. I. (2016). Pemodelan Vertical Drain dengan Menggunakan Model Elemen Hingga pada Analisis Konsolidasi di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur. *Journal of Institut Teknologi Nasional, Jurusan Teknik Sipil Itenas, Vol.2 (II) No.3*.
- Risdianta, R. H. (2018). Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan *Preloading* dengan Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (PVD) dan Prefabricated Horizontal Drain (PHD) pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Amanda dan Btari. Malang: *Jurnal of Fakultas Teknik Sipil Universitas Brawijaya*.
- Suhendra, A. M. I. (2011). Studi Aplikasi *Vacuum Preloading* sebagai Alternatif Percepatan Proses Konsolidasi pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air. *Trial GVS pada Perumahan Pantai Indah Kapuk Jakarta: Vol. 2 (II)*. Hlm. 1055-1065.
- Thioritz, S. (2012). Perbandingan Metode Pembebanan *Vacuum* dan Prapembebanan untuk Mempercepat Proses Konsolidasi. Makasar: *Journal of Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya, Vol. 6 (VI)*. No.2.
- Yanuar, O. M. (2015). Analisis Konsolidasi dengan Menggunakan Metode *Preloading* dan Vertical Drain pada Area Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II. *Journal of Institut Teknologi Nasional, Teknik Sipil Itenas, Vol.1 (I)*. No.1.