

Penggunaan PVD dan Preloading untuk Mempercepat Waktu Konsolidasi Di Lahan Penumpukan Peti Kemas Pelabuhan Trisakti Banjarmasin

Rusdiansyah

Abstract - Development of extension of heaping container area of The Port Of Trisakti Banjarmasin (Phase I) for the width of 50 x m 200 m started at year-end 2006, this meant as supporter medium for the increase of service to port user specially container. Of theoretical calculation and aktual in field happened difference of result because usage of data in taken away from theoretical calculation of data investigation of land; ground in the year 2000 while execution of work in the year 2007. During range of time (± 7 year) conducive by elementary land; ground experience of resulted from degradation land weight itself effect and land; ground of existence of influence of work of development of dock in container farm location (heavy equipment traffic and dock material heap). Result of analysis and perception of field as a whole express that natural land; ground of degradation of primary which isn't it however admitting of to experience of small degradation (sekunder degradation).

Key words : *Settlement, degradation time, Preloading, PVD, Soil monitoring*

PENDAHULUAN.

Pada prinsipnya bangunan tidak diperkenankan dibangun di atas tanah yang compressible bila dikhawatirkan nanti akan terjadi perbedaan penurunan tanah yang lebih besar dari pada batas toleransi bangunan tersebut. Selain itu tanah compressible/lunak sering tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul beban bangunan yang didirikan di atasnya. Untuk itu perlu memampatkan tanah yang bersangkutan sebelum bangunan didirikan dengan tujuan menghilangkan sama sekali (atau sebagian besar) penurunan konsolidasi yang akan terjadi akibat beban bangunan dan meningkatkan daya dukung (tahanan geser) dari tanah dasar sehingga mempunyai struktur susunan partikel tanah yang lebih rapat dan lebih kokoh.

Perbaikan tanah cara pemampatan awal dengan preloading cocok untuk tanah-tanah lempung jenuh air yang lunak, tanah-tanah lanau yang compressible, tanah lempung organik dan tanah peat. Untuk mempercepat waktu precompression, dapat digunakan metode drainase vertikal (vertical drains) yang dapat memperpendek aliran air pori.

Hal ini dikarenakan sering dijumpai dalam perencanaan cara preloading masih memerlukan waktu yang terlalu lama (umumnya lebih dari satu tahun), padahal proyek tidak dapat menunggu selama itu. Untuk mempercepat waktu konsolidasi

digunakan vertical drain dimana pemampatan terjadi sebagian besar akibat konsolidasi primer.

Rencana pembangunan lahan penumpukan peti kemas (Container Yard) yang berada di pelabuhan Trisakti Banjarmasin Kalimantan Selatan, memiliki lapisan tanah dasar berupa tanah lunak dengan ketebalan lebih dari 30 m. Kondisi ini jelas tidak menguntungkan, karena dari hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki daya dukung yang rendah. Hal ini mengakibatkan konstruksi yang berdiri di atas tanah lunak tersebut rawan terhadap penurunan bahkan mengakibatkan struktur di atasnya menjadi tidak stabil, miring, retak-retak, patah, dan bahkan dapat menyebabkan keruntuhan.

Adapun tujuan dari kajian ini adalah untuk mengetahui peranan preloading yang dikombinasi dengan PVD (Prefabricated Vertical Drain) dalam mempercepat waktu konsolidasi di lapangan.

KAJIAN TEORITIS.

Konsolidasi Tanah

Bila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori di dalam tanah tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir kelapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti penurunan tanahnya. Karena permeabilitas tanah yang rendah, proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi

adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. Proses konsolidasi dilapangan dapat diamati dengan pemasangan piezometer, untuk mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya. Besarnya penurunan dilapangan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu.

Lempung Terkonsolidasi Normal dan Terkonsolidasi Berlebih

Istilah terkonsolidasi normal dan terkonsolidasi lebih digunakan untuk menggambarkan suatu sifat penting dari tanah lempung. Lapisan tanah lempung biasanya terjadi dari proses pengendapan, selama proses pengendapan lempung mengalami konsolidasi atau penurunan akibat tekanan tanah yang berada di atasnya. Lapisan-lapisan tanah yang berada di atas ini suatu ketika mungkin hilang akibat proses alam. Hal ini berarti tanah lapisan bagian bawah dalam sejarah geologi tanah mengalami konsolidasi akibat dari tekanan yang lebih besar dari tekanan yang bekerja sekarang. Tanah semacam ini disebut tanah terkonsolidasi lebih. Kondisi lain, bila tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik di dalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya maka lempung disebut kondisi terkonsolidasi normal.

Jadi lempung pada kondisi terkonsolidasi normal bila tekanan prakonsolidasi (p_c') sama dengan tekanan overburden efektif (p_0'). Sedangkan lempung pada kondisi terkonsolidasi lebih jika tekanan prakonsolidasi lebih besar dari tekanan overburden efektif yang ada pada waktu sekarang. Nilai banding overkonsolidasi (OCR) dinyatakan dalam persamaan :

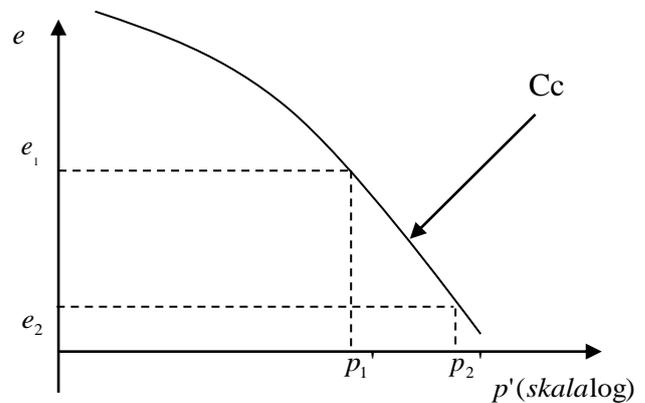
$$OCR = \frac{p_c'}{p_0'}$$

Tanah terkonsolidasi normal mempunyai nilai OCR = 1, dan tanah terkonsolidasi lebih mempunyai OCR > 1. Dapat ditemui pula, tanah lempung mempunyai OCR < 1. Dalam hal ini tanah sedang mengalami konsolidasi. Kondisi ini terjadi pada tanah-tanah yang baru saja diendapkan baik secara geologis maupun oleh manusia.

Indeks Pemampatan (C_c)

Indeks pemampatan adalah kemiringan dari bagian lurus grafik e - $\log p'$ (lihat Gambar 1). Nilai C_c dinyatakan dengan persamaan :

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{e_1 - e_2}{\log(p_2'/p_1')}$$



Gambar 1. Indeks Pemampatan C_c

Dari penelitian untuk tanah normal konsolidasi, Terzaghi dan Peck (1967) mengusulkan nilai C_c sebagai berikut :

$$C_c = 0,009(LL - 10)$$

dengan LL adalah batas cair (liquid limit). Persamaan ini dapat digunakan untuk tanah lempung anorganik yang mempunyai sensitivitas rendah sampai sedang dengan kesalahan 30% (persamaan ini sebaiknya tidak digunakan untuk sensitivitas lebih besar dari 4).

Beberapa nilai C_c yang didasarkan pada sifat-sifat tanah pada tempat-tempat tertentu yang diberikan oleh Azzouz (1976) sebagai berikut :

$$C_c = 0,01 w_n \text{ (untuk lempung Chicago)}$$

$$C_c = 0,00046 (LL - 9) \text{ (untuk lempung Brasilia)}$$

$$C_c = 0,208 e_o + 0,0083 \text{ (untuk lempung Chicago)}$$

$$C_c = 0,0115 w_n \text{ (untuk tanah organik, gambut)}$$

Koefisien Konsolidasi (C_v)

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi. Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada struktur diperkirakan besar. Bila penurunan sangat kecil, kecepatan penurunan tidak begitu penting diperhatikan, karena penurunan yang terjadi sejalan dengan waktunya tidak menghasilkan perbedaan yang berarti.

Derajat konsolidasi pada sembarang waktu dapat ditentukan dengan menggambarkan grafik penurunan vs waktu untuk satu beban tertentu yang

diterapkan pada alat konsolidasi. Cara dengan mengukur penurunan total pada fase konsolidasi. Kemudian dari data penurunan dan waktu, sembarang waktu yang dihubungkan dengan derajat konsolidasi rata-rata tertentu (misalnya $U = 50\%$) ditentukan. Hanya saja, walaupun fase konsolidasi telah berakhir, yaitu ketika tekanan air pori telah nol, benda uji di dalam alat konsolidasi masih terus mengalami penurunan akibat konsolidasi sekunder. Karena itu, tekanan air pori mungkin perlu diukur selama proses pembebanan atau suatu interpretasi data penurunan dan waktu harus di buat untuk menentukan kapan konsolidasi telah selesai.

Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Ditinjau lapisan tanah lempung jenuh dengan tebal H . Akibat adanya beban yang bekerja, lapisan tanah menerima tambahan tegangan sebesar Δp . Sebagai akibat penambahan tegangan dari p_0' ke p_1' (dengan $p_1' = p_0' + \Delta p$) terjadi pengurangan angka pori dari e_0 ke e_1 . Pengurangan volume dinyatakan oleh persamaan angka pori sebagai berikut :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Pengurangan volume sama dengan pengurangan tebalnya, yaitu penurunan ketinggian. Besarnya penurunan lapisan tanah sebesar dh dinyatakan dalam persamaan :

$$dS_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} dh = \frac{e_0 - e_1}{p_1' - p_0'} \cdot \frac{p_1' - p_0'}{1 + e_0} dh = m_v \cdot \Delta p \cdot dh$$

dengan S_c adalah penurunan konsolidasi primer total atau ultimit. Untuk penurunan lapisan tanah dengan tebal H :

$$S_c = \int_0^H m_v \cdot \Delta p \cdot dh$$

Jika m_v dan Δp dianggap sama pada senbarang kedalaman tanah, maka diperoleh persamaan penurunan konsolidasi primer total :

$$S_c = m_v \cdot \Delta p \cdot H$$

Persamaan konsolidasi menggunakan grafik $e - \log p'$ adalah sebagai berikut ini:

Bila $\Delta H = S_c$, maka dapat dibuat persamaan umum :

$$S_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

Untuk lempung tertentu, penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan-persamaan berikut ini :

Bila didefinisikan :

$$p_t' = p_0' + \Delta p$$

(a) Penurunan untuk lempung normal konsolidasi ($p_c' = p_0'$) dengan tegangan efektif sebesar p_1' ,

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'}$$

(b) Untuk lempung overkonsolidasi ($p_c' > p_0'$) penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan yang bergantung nilai p_1' ,

1. Bila, $p_1' < p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'}$$

2. Bila, $p_1' > p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_c'}{p_0'} + C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_c'}$$

$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}$; pada kurva penambahan beban atau pada $p' > p_c'$,

$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}$; pada kurva pelepasan beban atau pada $p' < p_c'$.

dengan :

C_r = indeks pemampatan kembali

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah

p_c' = tekanan prakonsolidasi

e_0 = angka pori awal

Δp = tambahan tegangan akibat beban luar

p_0' = tekanan overburden efektif mula-mula sebelum dibebani

Metode Percepatan Pemampatan Dengan Preloading

Perbaikan tanah dengan teknik ini terutama ditujukan untuk tanah-tanah yang mengalami penurunan yang besar bila dibebani. Memampatkan tanah yang lembek dan "compressible" (mudah mampat) dapat menyebabkan peningkatan kekuatan tanah (daya dukung tanah), karena tanah yang memampat mempunyai struktur susunan partikel yang lebih rapat dan lebih kokoh.

Pada prinsipnya bangunan tidak boleh dibangun di atas tanah yang compressible. Untuk itu perlu memampatkan tanah sebelum bangunan didirikan dengan tujuan pokoknya adalah sebagai berikut :

1. Menghilangkan sama sekali (atau sebagian besar), penurunan konsolidasi yang akan terjadi akibat beban bangunan tersebut. Bila total penurunan tanah yang dicapai sesuai dengan yang direncanakan, beban awal tersebut dapat dihilangkan (dibongkar). Baru kemudian bangunan yang sebenarnya dapat dilaksanakan.
2. Meningkatkan daya dukung (tahanan geser = shear strength) dari tanah dasar. Pemampatan dapat meningkatkan tahanan geser tanah sehingga tanah yang semula lunak dan mempunyai daya dukung yang rendah menjadi lebih kuat dan lebih stabil dalam mendukung beban bangunan.

Perbaikan tanah cara pemampatan awal (precompression) ini umumnya cocok untuk tanah-tanah lempung organik dan tanah peat. Untuk mempercepat waktu precompression, dapat digunakan vertical drain yang memperpendek panjang aliran (drainage path) dari air pori.

Fungsi Dan Type Vertikal Drain

Fungsi utama digunakannya vertikal drain dalam suatu lapisan tanah lempung "Compressible" adalah untuk mempercepat proses konsolidasi primer (lihat Gambar 2). Konsolidasi primer menurut definisi adalah merupakan peristiwa keluarnya air dari dalam ruang pori tanah sebagai akibat adanya pembebanan mekanik atau lainnya, sehingga mengakibatkan suatu settlement dari lapisan tanah tersebut. Proses konsolidasi primer ini ditandai dengan mengecilnya harga tegangan air porinya. Apabila harga tegangan air pori (u) tersebut menjadi konstan atau $\Delta u = 0$, namun deformasi masih tetap berlangsung, maka fenomena ini disebut konsolidasi sekunder.

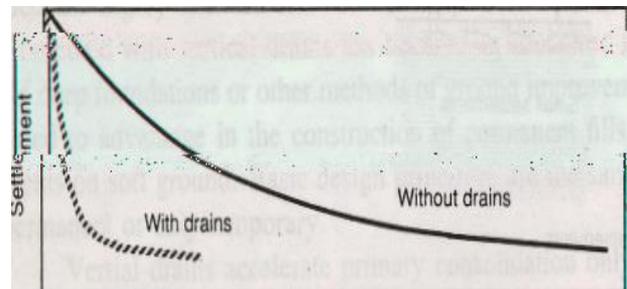
Metoda perbaikan tanah menggunakan vertikal drain ini, pada hakekatnya adalah untuk :

- Mereduksi waktu antara dua fase pelaksanaan di saat diterapkannya penimbunan bertahap.
- Mengurangi waktu yang diperlukan untuk memperoleh derajat konsolidasi yang memadai.

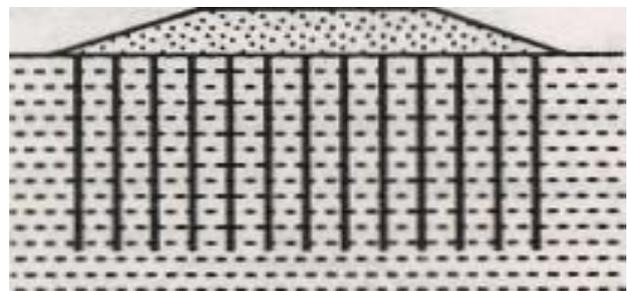
Adakalanya, penggunaan vertikal drain ini dikombinasikan dengan "surcharge" beban lebih sementara/Preloading (lihat Gambar 3). Surcharge temporer ini dapat menghasilkan dengan cepat sebagian besar dari penurunan tanah total sebelum struktur bangunan atau timbunan permanen di

atasnya berfungsi. Vertikal drain tersebut dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) type umum, yaitu:

- Sand drain
- Fabric encased sand drain
- Prefabricated vertical (PV) drain.



Gambar 2 Perbandingan menggunakan vertical drain dan tidak menggunakan



Gambar 3 Preloading kombinasi dengan vertical drain

Adapun untuk PV drains itu sendiri bisa berupa karton, textile, plastik atau material lainnya (bahan karung dan sabut kelapa). PV drains yang paling banyak digunakan umumnya berupa band-shaped (*rectangular cross section*) yang terdiri dari synthetic geotextile "jacket" disekeliling plastik core. Jacket tersebut umumnya dibuat dari bahan non-woven polyester atau polypropylene geotextiles. Fungsi utama dari drain jacket ini adalah sebagai soil filter. Sedangkan drain core fungsi utamanya untuk mengalirkan air arah vertikal dengan lancar, sesuai dengan discharge capacitynya (m^3 / tahun).

METODE

Pengumpulan Data

Dalam kajian ini, diperlukan data-data yang berkaitan dengan keadaan tanah setempat. Data-data tersebut meliputi data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

- a. Pengambilan sample dengan hand boring pada tanah timbunan untuk mengetahui γ_m .
 - b. Pengukuran tinggi dan kemiringan lereng tanah timbunan preloading.
2. Data Sekunder
- a. Bor Mesin.
Data tersebut dibutuhkan untuk mendapatkan informasi mengenai lapisan tanah, ketinggian permukaan tanah, muka air tanah.
 - b. Data Sondir
Dalam hal ini diperlukan untuk mengetahui tebal lapisan Compressible.
 - c. Data Hasil Pengujian Laboratorium.
Data ini diperlukan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat mekanis tanah.
 - d. Data beban .
Data ini diperlukan untuk menentukan pembebanan yang terjadi pada permukaan tanah, berupa beban mati berupa muatan yang berasal dari konstruksi atau unsur konstruksi itu, termasuk segala unsur tambahan yang merupakan satu kesatuan dengannya. Beban hidup merupakan semua muatan tidak tetap, kecuali muatan angin, muatan gempa dan pengaruh-pengaruh khusus.
 - e. Material vertical drain
Data material vertical drain, diantaranya data spesifikasi vertical drain untuk mengetahui dimensi serta kemampuan penyerapan air yang akan dialirkan/dikeluarkan.
 - f. Material bahan timbunan
Data ini diperlukan untuk mengetahui besarnya pra beban yang diberikan terhadap tanah.
 - g. Data pengamatan penurunan dilapangan

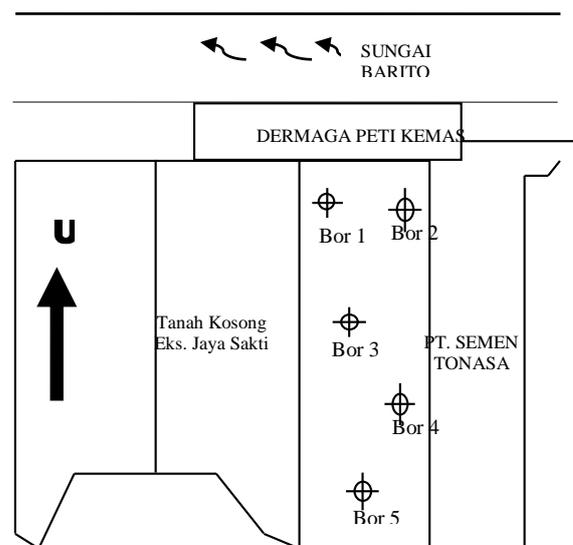
Setelah pengumpulan data selesai, kemudian dilanjutkan dengan kegiatan analisa data yang ditujukan untuk perancangan metode perbaikan tanah dengan preloading yang dikombinasi dengan PVD (Prefabricated Vertical Drain) untuk menanggulangi penurunan primer yang akan terjadi. Kegiatan ini meliputi :

- o Analisa data tanah dan sifat rekayasa tanah yang dipakai pada perhitungan.
- o Perhitungan beban luar berupa beban peti kemas dan crane pengangkat peti kemas.
- o Perencanaan perbaikan tanah.
- o Analisa data pengamatan penurunan dilapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Hasil Penyelidikan Tanah

Data-data lapangan berupa data primer yang diperoleh dari pengambilan sampel dan pengukuran di lapangan serta data sekunder hasil bor mesin dari buku Laporan Interim Report PT. Pelabuhan Indonesia III dan Lembaga Penelitian Universitas Lambung Mangkurat. Pada lokasi rencana tempat penumpukan peti kemas tersebut dilakukan pengujian bor mesin sebanyak 5 (lima) titik. Lay out lokasi bor tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Lay out titik bor

Data tanah hasil pengeboran dilakukan sebanyak 5 titik pengujian, sampel tanah diambil dari tiap lapisan pada kedalaman tertentu (dari permukaan tanah sampai kedalaman 29.90 meter) dengan menggunakan tabung undisturbed. Adapun data-data dari hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1 sampai 5 (terlampir)

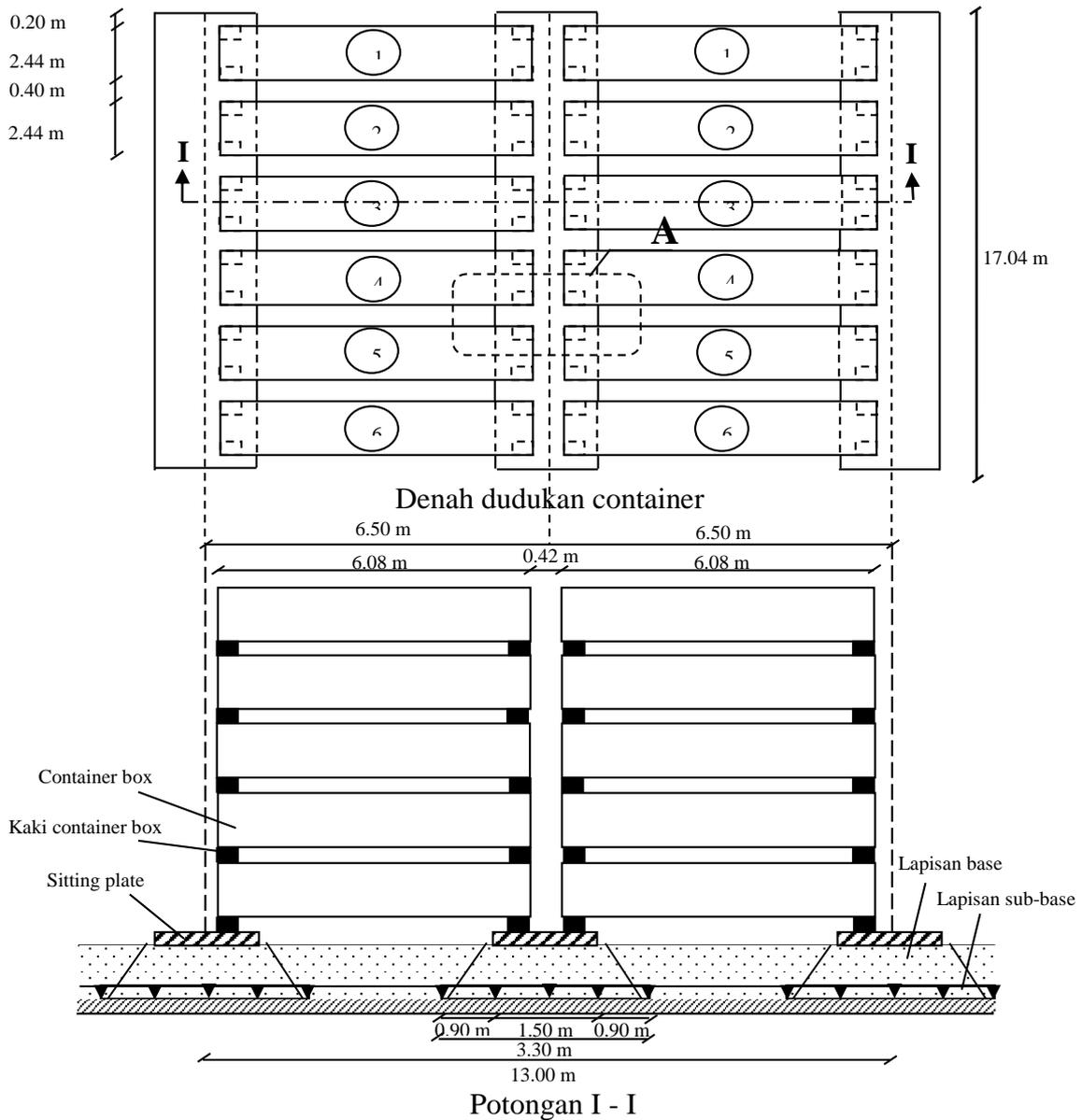
Berdasarkan data tanah tersebut maka dapat diketahui beberapa parameter sifat fisik dan mekanis dari tanah berupa berat volume, indeks pemampatan, dan angka pori tiap lapisan tanah dengan interval 3,0 meter. Sehingga dari data-data tersebut selanjutnya dapat dihitung penurunan tanah (Settlement Tanah) pada masing-masing titik Bor 1 sampai titik Bor 5.

Berdasarkan hasil dari tabel data tersebut didapat nilai berat volume tanah yang terkecil adalah $1,358 \text{ t/m}^3$ pada Bor 3 di kedalaman 0,00 – 2,90 m dan yang terbesar $1,823 \text{ t/m}^3$ pada Bor 4 di kedalaman 0,00 – 2,90 m, indeks pemampatan yang terkecil adalah 0,270 pada Bor 2 di kedalaman 8,90 – 11,90 m dan yang terbesar 2,692 pada Bor 2 di kedalaman 14,90 – 17,90 m, angka pori yang terkecil 0,842 pada Bor 2 di kedalaman

20,90 – 23,90 m dan yang terbesar 4,203 pada Bor 5 di kedalaman 17,90 – 20,90 m. Dari nilai-nilai tersebut didapat bahwa sifat tanah semakin kearah tepi sungai (air) tanah semakin lunak, hal ini dapat terlihat dari nilai γ semakin mengecil yang menunjukkan tanah adalah tanah lunak, nilai C_c yang besar menunjukkan tanah mudah mampat, dan angka pori yang besar menunjukkan tanah tidak padat

lapis (maksimum) dan diteruskan ke tanah dasar (sub grade), sehingga selanjutnya dapat ditentukan besarnya penurunan tanah dan beban yang bekerja.

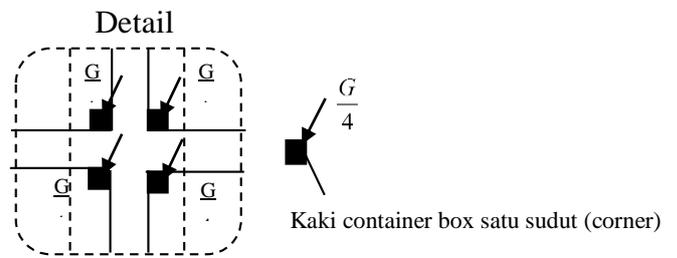
Pada Gambar 6 ditunjukkan detail dari kedudukan pertemuan kaki container (corner) dengan berat maksimum 1 (satu) buah container box 12 feet adalah sebesar 30,5 ton (data PT. Pelindo) dan disimbolkan dengan huruf G.



Gambar 5 Beban yang bekerja akibat tumpukan peti kemas

Beban Yang Akan Bekerja

Dudukan peti kemas (sitting plate) berupa pelat beton bertulang diletakkan diatas lapisan base course dan sub-base course (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5). Beban dari petikemas ditahan oleh sitting plate yang memikul beban akibat tumpukan petikemas (container) sebanyak 5



$$q_{\text{petikemas}} = \frac{915}{(1,50 + 1,80) \times (17,04 + 1,80)}$$

$$= 14,72 \text{ t/m}^2$$

Berat pasir urug = $\sum \gamma \cdot h$, dimana γ pasir = $2,06 \text{ t/m}^2$

$$= (2,06 \times 0,4) + (2,06 \times 0,5)$$

$$= 1,85 \text{ t/m}^2$$

Gambar 6 Detail A (kaki container)

Beban total pada setiap sudut pertemuan 4 buah container box dengan 5 lapis tumpukan peti kemas adalah :

$$\text{Beban sudut} = 5 \text{ lapis tumpukan} \times \left(\frac{G}{4} \times 4 \text{ corner} \right)$$

$$= 5 \times \left(\frac{30,5}{4} \times 4 \right)$$

$$= 152,50 \text{ ton}$$

Untuk 1(satu) buah sitting plate terdapat 6 baris peti kemas (container), sehingga beban total dudukan peti kemas adalah :

Beban total = jumlah baris \times beban sudut pada setiap sudut pertemuan 4 buah container dengan 5 lapis tumpukan peti kemas

$$= 6 \times 152,50 \text{ ton}$$

$$= 915,00 \text{ ton}$$

Adapun ukuran sitting plate adalah $1,50 \text{ m} \times 17,04 \text{ m}$ dan beban tumpukan peti kemas dianggap menyebar dengan sudut 45° (lapisan base dan sub-base berupa pasir) dari alas sitting plate ke lapisan sub-base yang akan diteruskan kelapisan sub grade

Sitting plate terbuat dari beton bertulang dengan ukuran tebal $0,2 \text{ m}$, lebar $1,5 \text{ m}$, dan panjang $17,04 \text{ m}$. Berat sitting plate adalah menjadi sebesar :

$$\text{Berat sitting plate} = 0,20 \times 2,4 \times \frac{1,5 \times 17,04}{3,3 \times 18,84}$$

$$= 0,20 \text{ t/m}^2$$

Beban yang bekerja di atas lapisan sub-grade mencakup berat container, base dan sub-base termasuk sitting plate (plat landas). Sehingga didapat beban total terbagi rata sebagai berikut :

$$q_{\text{total}} = \text{beban terbagi rata} + \text{berat pasir urug} + \text{berat sitting plate}$$

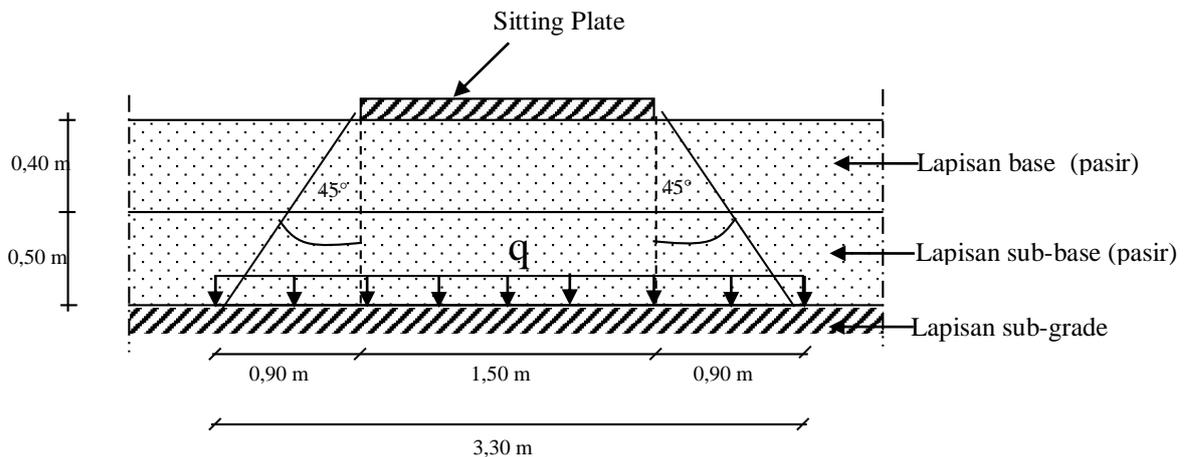
$$= 14,72 + 1,85 + 0,20$$

$$= 16,72 \text{ t/m}^2$$

Maka q_{total} yang akan digunakan untuk perhitungan settlement (penurunan) adalah sebesar $16,72 \text{ t/m}^2$.

Penurunan (Settlement) dan Waktu Penurunan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan penurunan untuk seluruh titik penyelidikan tanah didapatkan besarnya settlement yang ditunjukkan dalam Tabel 1.



(seperti terlihat pada Gambar 7)

Beban total peti kemas dalam satu jalur tumpukan menjadi seberat 915,00 ton disebar menjadi beban terbagi rata sebesar :

Tabel 1 Settlement tanpa preloading dan PVD

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa penurunan terbesar adalah 3,64460 m pada titik Bor 2, dan ini merupakan total settlement yang

Gambar 7 Penyebaran beban peti kemas pada sitting plate

Titik bor	Settlement
Bor 1	2,59751 m
Bor 2	3,64460 m
Bor 3	2,94839 m
Bor 4	1,21214 m
Bor 5	1,43134 m

paling ekstrim, sehingga total primary settlement di ambil $\pm 90\%$ dari total settlement yaitu $90\% \times 3,64460 = 3,28014$ m.

Pada Tabel 2 menunjukkan waktu/lamanya penurunan yang dihasilkan untuk masing-masing titik bor penyelidikan tanah. Dengan lamanya waktu konsolidasi tersebut maka dapat dipercepat salah satunya dengan menggunakan vertical drain.

Tabel 2 Waktu /Lamanya penurunan

Penurunan dengan menggunakan Preloading

Settlement (penurunan) yang akan terjadi dari hasil analisis dengan menggunakan data bor mesin (undisturbed sampling) adalah besar (lihat Tabel 1) sehingga untuk mengurangi pengaruhnya perlu dilakukan perbaikan tanah (soil

Titik bor	Lama penurunan (tahun)
Bor 1	98,70402
Bor 2	41,65170
Bor 3	152,5426
Bor 4	148,6807
Bor 5	77,78661

improvement) untuk mereduksi settlement.

Sistem preloading adalah pemberian beban awal yang berlebih sedemikian rupa sehingga pada waktu yang pendek didapatkan penurunan yang sama besarnya dengan total penurunan dari beban rencana. Tetapi hal ini tidak menghilangkan seluruh penurunan dari tanah. Sehingga masih akan ada lagi penurunan tambahan (sekunder) yang berlangsung cukup lama. Pada tanah lempung organik pemampatan tanah sekunder relatif cukup besar dibanding dengan konsolidasi primer (Indrasurya, 2000).

Pada kajian ini Preloading yang diterapkan berupa tanah urug dengan γ tanah sebesar $2,06 \text{ t/m}^3$ dan dengan tinggi rata-rata 4,5 meter akan menghasilkan beban preloading (q) terhadap tanah asli adalah sebesar $9,27 \text{ t/m}^2$. Beban merata preloading langsung disalurkan ketanah dasar sehingga luas bidang kontak terhadap tanah dasar adalah panjang x lebar dari lahan yang akan diberi beban preloading yaitu $200 \text{ m} \times 50 \text{ m}$.

Settlement (penurunan) yang akan terjadi dari hasil analisis dengan menggunakan preloading ternyata lebih besar dari penurunan tanpa

menggunakan preloading. Perbandingan besarnya settlement yang didapat tanpa preloading dan dengan menggunakan preloading dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan penurunan tanpa dan dengan preloading

Titik bor	Tanpa preloading (m)	Dengan preloading (m)
Bor 1	2,59751	4,83208
Bor 2	3,64460	4,96680
Bor 3	2,94839	2,94839
Bor 4	1,21214	4,95844
Bor 5	1,43134	2,69059

Dengan melihat perbandingan di atas maka primary konsolidasi yang terjadi pada tanah dasar dapat direduksi seluruhnya oleh beban preloading. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada saat beban sebenarnya akan bekerja tidak terjadi penurunan yang signifikan/berarti, meskipun nantinya secara teoritis penurunan sekunder masih akan terjadi tetapi besarnya sudah sangat kecil dan dapat diabaikan.

Perencanaan Vertical Drain

Dengan besaran dan lamanya waktu berlangsungnya settlement tanah dasar seperti yang telah ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3 maka dapat dipercepat dengan meletakkan preloading berupa tanah urug diatas tanah yang akan diperbaiki dan dikombinasikan dengan PVD (Prefabricated Vertical Drain). Preloading disini dimaksudkan agar tanah mengalami pembebanan sebesar beban rencana yang akan bekerja dan dikerjakan lebih awal sebelum fase operasional. Sehingga akibat preloading tanah mengalami tekanan yang mengakibatkan air pori dalam tanah terdrainase dengan bantuan PVD.

Ruangan di dalam tanah yang ditinggalkan oleh air pori akan terisi butiran-butiran tanah, hal inilah yang menyebabkan terjadinya konsolidasi. Pada kajian ini Vertical drain tidak dipancang

sampai seluruh kedalaman lapisan kompresibel, akan tetapi hanya sampai kedalaman yang memberikan kontribusi settlement yang cukup besar yaitu 20.5 m dari permukaan tanah. Untuk mendapat desain yang baik diperlukan parameter koefisien konsolidasi baik arah vertikal maupun horizontal (C_v dan C_h). Parameter tanah yang terpenting untuk menghitung vertical drain adalah koefisien konsolidasi untuk arah horizontal ($C_h = C_r$), dimana rasio dari nilai C_h/C_v berkisar antara 2 sampai 10 (IndraSurya, 2000).

Dalam Perhitungan kebutuhan vertikal drain, yaitu dari data koefisien radial tanah C_r yang diketahui, dapat kita tetapkan terlebih dahulu lamanya proses konsolidasi yang diinginkan (t) dan derajat konsolidasi (U_r) yang diharapkan. Bertitik tolak dari hal-hal tersebut di atas, kita dapat mencari atau menentukan diameter (d) serta jarak antara vertikal drainnya (l atau s). Dengan lamanya waktu konsolidasi seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 2 maka untuk mengatasi hal tersebut dipercepat dengan menggunakan vertical drain, dalam hal ini waktu penurunan untuk dapat mencapai derajat konsolidasi sebesar 90 % (t_{90}) direncanakan selama kurang lebih 5 bulan, hal ini dikarenakan menyesuaikan schedule dari PT. Pelindo III Banjarmasin selaku pemilik proyek. Pada Tabel 4 dapat diketahui perbandingan lama penurunan tanah tanpa menggunakan dan menggunakan PVD.

Tabel 4 Lama penurunan tanpa PVD dan dengan PVD

Titik bor	Lama penurunan tanpa PVD (tahun)	Lama penurunan dengan PVD (bulan)
Bor 1	98,70402	Ditetapkan 5,0 bulan
Bor 2	41,65170	Ditetapkan 5,0 bulan
Bor 3	152,5426	Ditetapkan 5,0 bulan
Bor 4	148,6807	Ditetapkan 5,0 bulan
Bor 5	77,78661	Ditetapkan 5,0 bulan

Untuk mempercepat perhitungan dalam mendapatkan diameter serta jarak antar vertical yang kita butuhkan dapat dicari dengan cara grafis dari MAGNAN yang direkomendasikan oleh LCPC (1981). Hal ini dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 terlampir.

Dengan memakai data penyelidikan tanah dan jenis PVD yang digunakan adalah Membradrain MD 7007 yang memiliki dimensi lebar 100 mm, tebal 3 mm, berat 92 gram/m², luas penampang 200 mm², serta C_v dan C_h yang telah ditentukan dapat diketahui jarak pemasangan PVD

(L) untuk pola segi empat maupun segi tiga seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Jarak pemasangan PVD dengan pola segi tiga dan segi empat

Titik bor	D pengaruh (m)	Pola segi tiga (m)	Pola segi empat (m)
Bor 1	2,20	2,09	1,95
Bor 2	3,30	3,14	2,92
Bor 3	2,00	1,90	1,77
Bor 4	2,10	2,00	1,85
Bor 5	2,85	2,71	2,52

Kontrol terhadap berfungsinya Vertikal Drain

Untuk mengetahui apakah vertikal drain tersebut telah berfungsi dengan baik atau tidak setelah dilakukan pemasangan, salah satu cara yang umum dipakai adalah dengan cara "soil monitoring".

Pemasangan instrument-instrumen seperti : Tassometer (termasuk settlement plate), Piezometer, Inclinometer, dibawah timbunan preloading atau diantara vertikal drain sangat diperlukan. Ini dimaksudkan agar kita dapat membaca dan menganalisa evolusi dari tegangan air pori, penurunan yang terjadi dan deformasi lateral. Dari proses ini kita akan dapat mengetahui apakah vertikal drain yang dipakai tersebut telah dapat menjalankan fungsinya dengan baik atau tidak. Dalam Gambar 8 ditunjukkan lay out soil monitoring berupa titik settlement plate (SP), sedangkan hasil pengamatan lapangan disajikan dalam lampiran.

Apabila ternyata vertikal drain tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik, maka kita harus segera mengantisipasinya, yaitu dengan memberikan beban ekstra atau menambah lagi jumlah vertikal drain dari yang sudah ada atau dengan cara-cara praktis lainnya yang lebih relevan.

Perhitungan besarnya settlement teoritis merupakan keharusan di dalam pekerjaan penimbunan preloading, akan tetapi di dalam realisasinya sesuai pengukuran langsung dengan settlement plate dan piezometer, grafik besarnya settlement dalam fungsi waktu tidak selalu tepat segaris dengan hasil perhitungan teoritis, adakalanya lebih kecil atau lebih besar dari prediksi awal. Hal inilah pentingnya dilakukan kontrol terhadap hasil pengukuran langsung di lapangan dengan peralatan soil monitoring, akan tetapi hasil perhitungan settlement teoritis penting

untuk dipakai sebagai gambaran dan pedoman dasar di dalam melakukan analisa selanjutnya.

Salah satu metode untuk mengontrol settlement final dari suatu timbunan preloading adalah dengan metode ASOAKA (1978) yang relatif sederhana. Pada Tabel 6 disajikan rekapitulasi Settlement hasil monitoring. Berdasarkan tabel tersebut dihasilkan bahwa

Titik	Metode ASOAKA (cm)	Hasil Aktual (settlement plate dilapangan) (cm)
SP-1	145,00	142,80
SP-2	158,00	153,70
SP-3	99,00	96,00
SP-4	89,00	91,20
SP-5	113,00	109,20

penurunan secara aktual (hasil dari settlement plate) tidak jauh berbeda dengan metode Asoaka.

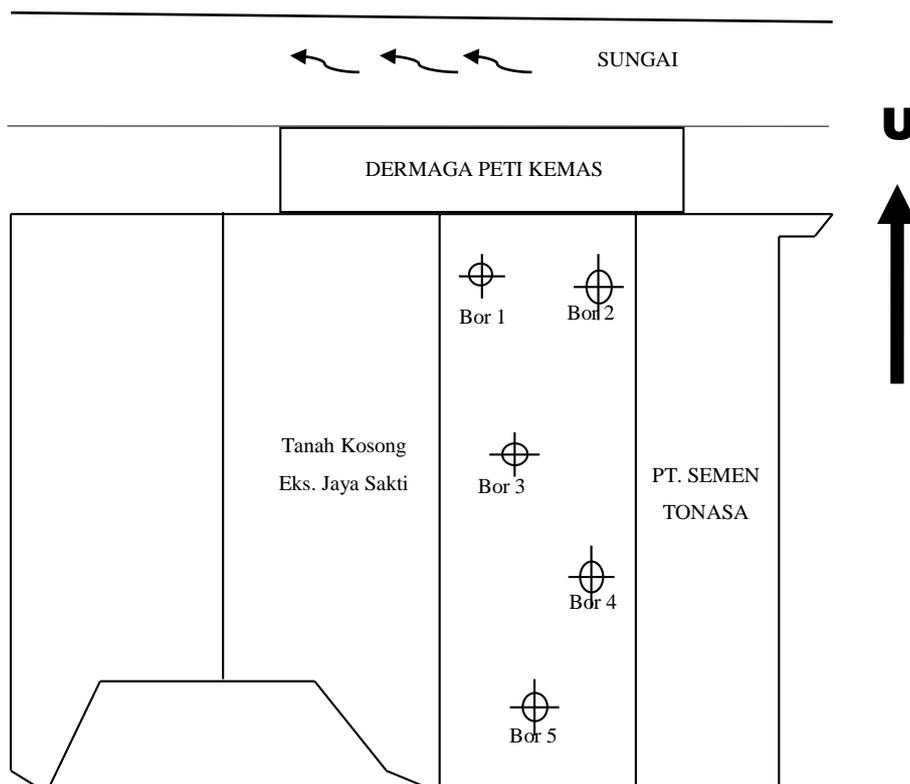
Tabel 6. Perbandingan Settlement Hasil Monitoring antara metode Asoaka dan Aktual

Berdasarkan Tabel 7 dibawah ini disimpulkan bahwa hasil penurunan dari perhitungan teoritis (berdasarkan data Bor) dan aktual (berdasarkan settlement plate di lapangan) terdapat perbedaan yang cukup jauh, hal ini mungkin dikarenakan penggunaan data tanah dalam perhitungan secara teoritis, dimana data tanah diambil dari hasil penyelidikan tanah pada Tahun 2000 sedangkan pelaksanaan pekerjaan dilaksanakan pada pada Tahun 2007. Selama kurun waktu tersebut (± 7 tahun) dimungkinkan tanah dasar telah mengalami penurunan yang diakibatkan oleh berat sendiri tanah dan juga akibat adanya pengaruh pekerjaan pembangunan dermaga di lokasi lahan peti kemas (lalu lintas alat berat dan

Titik	Besar settlement (cm)	Titik	Besar settlement (cm)
Bor 1	259,75	SP-1	142,80
Bor 2	364,46	SP-2	153,70
Bor 3	294,84	SP-3	95,00
Bor 4	121,21	SP-4	86,90
Bor 5	143,13	SP-5	109,20

tumpukan material dermaga).

Tabel 7 Perbandingan settlement antara perhitungan teoritis dan aktual



Gambar 8. Lay out titik bor dan settlement

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Penurunan primer maksimum yang akan terjadi pada lahan peti kemas adalah sebesar 3,64460 m dalam jangka waktu maksimum 152,5426 tahun.
- b. Untuk mereduksi besar penurunan primer yang akan terjadi dilakukan metode perbaikan tanah menggunakan preloading yang terbentuk dari tanah urug ($\gamma = 2,06 \text{ t/m}^3$) dengan dimensi = $p \times l \times t = 200 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$ yang menghasilkan beban q_{total} sebesar $9,27 \text{ t/m}^2$.
- c. Penurunan primer maksimum yang terjadi akibat preloading adalah sebesar 4,96680 m yang dapat mereduksi penurunan primer maksimum yang terjadi pada lahan peti kemas sebesar 3,64460 m.
- d. Untuk mereduksi lamanya penurunan primer yang akan terjadi digunakan metode percepatan konsolidasi dengan menggunakan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dengan spesifikasi Membrandrain MD.
- e. Metode perbaikan tanah kombinasi preloading dan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi menjadi hanya 5 (lima) bulan saja. Dengan pola segi tiga dan pola segi empat dengan masing-masing jarak vertical drain maksimum $l_{\blacktriangle} = 2,95 \text{ m}$ dan $l_{\blacksquare} = 2,74 \text{ m}$.
- f. Terjadinya perbedaan hasil penurunan teoritis dan aktual di lapangan dimungkinkan karena penggunaan data tanah dalam perhitungan secara teoritis, dimana data tanah diambil dari hasil penyelidikan tanah pada Tahun 2000 sedangkan pelaksanaan pekerjaan dilaksanakan pada pada Tahun 2007. Selama kurun waktu tersebut (± 7 tahun) dimungkinkan tanah dasar telah mengalami penurunan yang diakibatkan oleh berat sendiri tanah dan juga akibat adanya pengaruh pekerjaan pembangunan dermaga di lokasi lahan peti kemas (lalu lintas alat berat dan tumpukan material dermaga).

Saran

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, kegiatan penyelidikan tanah hendaknya dilaksanakan tidak terlalu lama dengan waktu pelaksanaan proyek agar sifat fisik dan mekanis tanah tidak banyak mengalami perubahan.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan oleh penulis kepada Bapak Ir. Tri Suhardi, MM, Manager Proyek Divisi Teknik PT. Pelindo III Cabang Banjarmasin, serta Ir. Andre (Divisi Teknik PT. Pelindo III Banjarmasin) yang telah banyak memberikan dukungan data dalam kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- B.Mochtar, Indrasurya, (2000), *Teknologi Perbaikan Tanah Dan Alternatif Perencanaan Pada Tanah Bermasalah*, ITS, Surabaya.
- Das, B. M., (1998), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1, alih bahasa: Noor Endah dan Indrasurya B. M., Erlangga, Jakarta.
- Hausman , Manfred R, (1992), *Engineering Principles of Ground Modification*, McGraw-Hill Publishing Company, United States of America.
- Holtz, Robeert D, (1992), *Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, United States of America.
- Laporan Interim Pekerjaan Perencanaan Terminal Peti Kemas Di Pelabuhan Banjarmasin Lokasi Ex PT. Polimer Kal – Sel Kerjasama PT. Pelindo III Dengan Lemlit Unlam (2001)
- Nasution, Syarifuddin, *Diktat Perbaikan Tanah*, ITB, Bandung.
- Wahyudi, Herman, (1997), *Teknik Reklamasi*, ITS, Surabaya.