

## ANALISIS FAKTOR PENURUNAN TANAH TERHADAP KINERJA AUTOMATED RUBBER TYRED GANTRY PADA TERMINAL PETI KEMAS SEMARANG

Garin Ario Tetuko, Hana Sahayu Rurita, Bambang Riyanto<sup>\*)</sup>, Wahyudi<sup>\*)</sup>

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50239, Telp: (024) 7474770, Fax: (024) 7460060

### ABSTRAK

Penurunan tanah yang terjadi di Terminal Peti Kemas Semarang, khususnya pada Container Yard 05 tempat Automated Rubber Tyred Gantry beroperasi menyebabkan sistem operasi ARTG terganggu. Hal tersebut dikarenakan penurunan tanah menyebabkan kemiringan pada ARTG pad. Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah untuk memprediksi kapan kemiringan ARTG pad pada tiap blok melewati batas toleransi supaya segera dilakukan tindakan untuk mengatasi masalah tersebut. Berdasarkan perhitungan konsolidasi, penurunan tanah pada Container Yard 05 seharusnya berhenti pada 300 sampai 360 hari setelah pekerjaan reklamasi selesai. Namun saat dilakukan pengukuran lapangan di bulan Agustus 2016 dan Maret 2017 masih terdapat penurunan tanah. Berdasarkan data pengukuran lapangan yang ada, dilakukan pendekatan berupa persamaan linear untuk memprediksi kapan masing-masing blok pelayanan ARTG sistemnya terganggu. Diprediksi Blok C akan terganggu sistemnya paling awal, yaitu pada bulan Maret 2017. Blok D akan terganggu sistemnya pada September 2017, kemudian pada bulan Februari 2018, Blok F sistemnya terganggu. Sistem Blok G akan terganggu di bulan April 2018, sedangkan sistem pada blok E diprediksi akan terganggu paling akhir yaitu bulan Juni 2019. Saran yang dapat diberikan ialah saat proses reklamasi, sebelum area reklamasi diberikan perkerasan, derajat konsolidasinya sudah harus mencapai atau mendekati 90%. Dengan demikian tanah yang ditimbun akan lebih stabil saat mulai diberikan beban operasional. Untuk blok yang sistemnya akan terganggu, dapat dilakukan pekerjaan leveling.

**Kata kunci:** reklamasi, terminal peti kemas semarang, penurunan tanah, ARTG pad, dan konsolidasi

### ABSTRACT

*Land subsidence that occurs on Terminal Peti Kemas Semarang, especially on Container Yard 05 where Automated Rubber Tyred Gantry operated, cause ARTG operating system is disrupted. This occurs because land subsidence causes slope on ARTG pad. The purpose of this final task is to predict when the slope of ARTG pad on each block pass the tolerance limit, so action is taken to solve the problem. Based on the consolidation calculation, the land subsidence on Container Yard 05 should stop at 300 to 360 days after the reclamation work is completed. But in fact, when field measurements were conducted in August 2016 and March 2017 there was still a land subsidence. Based on existing field measurement data, linear equations are used to predict when each block of ARTG service system is disturbed. It is predicted that Block C will be disrupted earliest among others, by March 2017. Block D will be disrupted in September 2017, then in February 2018, Block F will be*

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

*disrupted. Block G will be disrupted in April 2018, while the system in block E is predicted to be disturbed in June 2019. The suggestion we can give is, when the reclamation process was held, the degree of consolidation must be or at least reach 90% before pavements were given. Therefore it will be more stable when given the operational load. For ARTG's block that the system is disturbed, leveling can be given.*

**Keyword:** *reclamation, terminal peti kemas semarang, land subsidence, ARTG pad, and consolidation*

## **PENDAHULUAN**

Peti kemas (*container*) merupakan sarana pengiriman kargo yang saat ini sering digunakan pada perdagangan dunia. Data statistik menunjukkan bahwa lebih dari 90% kargo internasional diangkut melalui moda laut dengan pelabuhan sebagai transfer *interfacenya* (Winklemans, 2002). Selain itu kargo dan pelayaran dari seluruh dunia juga mengalami kecenderungan peningkatan secara eksponensial (Henesey, 2003). Dalam rangka ini, terminal peti kemas berusaha mengatasi berbagai hambatan agar produktivitas operasional meningkat dan akhirnya kapasitas terminal menjadi lebih tinggi.

PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) mendatangkan peralatan penunjang kegiatan kepelabuhan yaitu *Automated Rubber Tired Gantry* (ARTG). Fungsi dari alat tersebut untuk memindahkan peti kemas dari truk dan menumpuknya (*stack*) di lapangan penumpukan (*container yard*) dan sebaliknya. Kelebihan dari ARTG ialah ia dapat bekerja secara otomatis dan dikendalikan dari ruang kendali. Lokasi pengoperasian ARTG itu sendiri berada di *Container Yard 05* yang merupakan area reklamasi. Dalam pengoperasiannya, ARTG memiliki beberapa kendala karena faktor lingkungan sangat mempengaruhi kinerjanya. ARTG membutuhkan lapangan yang presisi sehingga proses *stacking* peti kemas dapat berjalan dengan baik. Hal itu bertolak belakang dengan keadaan di TPKS, dimana kota Semarang mengalami *land subsidence* tiap tahunnya. Adanya *land subsidence* ini membuat sistem operasi ARTG terganggu karena adanya kemiringan pada ARTG *pad* dan area penumpukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, kami mencoba memprediksi kapan kemiringan ARTG *pad* pada tiap blok melewati batas toleransi supaya segera dilakukan tindakan untuk mengatasi kemiringan tersebut sehingga pengoperasian ARTG dapat terus berjalan dengan baik

## **MAKSUD DAN TUJUAN**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang menjadi pokok permasalahan penelitian adalah menganalisis penurunan tanah terhadap kinerja ARTG pada Terminal Peti Kemas Semarang. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah memprediksi besarnya kemiringan di tiap blok pelayanan ARTG pada waktu yang akan datang, memprediksi kapan masing-masing blok pelayanan ARTG sistemnya terganggu, dan menghitung besarnya penurunan tanah yang terjadi di Terminal Peti Kemas Semarang.

## **BATASAN MASALAH**

Ruang lingkup permasalahan pada laporan ini dibatasi oleh :

1. Data penyelidikan tanah pada *Container Yard 05* yang digunakan merupakan data *bore log* pada titik B2;
2. Penurunan tanah yang dihitung pada perhitungan teoritis diasumsikan terjadi pada satu arah saja, yaitu penurunan arah vertikal;
3. Faktor kinerja ARTG yang ditinjau adalah faktor kemiringan (*slope*) pada ARTG *pad*.

## **METODOLOGI**

Penelitian ini dimulai dengan proses identifikasi masalah kemudian dirumuskan menjadi tujuan penelitian. Setelah dirumuskan tujuan penelitian, tahapan selanjutnya adalah survei pra-penelitian untuk menentukan ruang lingkup pembahasan dan pembatasan masalah yang dibahas, identifikasi data yang dibutuhkan, dan teknik/cara pengumpulan data. Survei pra-penelitian ini juga ditunjang dengan studi literatur dari berbagai sumber dan rujukan beberapa studi terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh melalui observasi dan wawancara langsung di lapangan. Dalam hal ini pihak yang diwawancarai adalah Divisi Teknik Terminal Peti Kemas Semarang (TPKS) dengan tujuan mengetahui permasalahan yang sedang terjadi di lapangan dan juga meminta data-data yang diperlukan untuk keperluan penelitian dan Divisi *Planner* TPKS dengan tujuan mengetahui sistem/cara kerja bongkar muat peti kemas dengan menggunakan ARTG.

Data sekunder adalah data yang diperoleh langsung tanpa melakukan survei maupun pengamatan langsung. Adapun data-data sekunder yang dibutuhkan antara lain, data *soil investigation* berupa data *boring* dan uji laboratorium untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi dan karakteristik lapisan tanah, jenis tanah, parameter tanah, dan muka air tanah di lokasi proyek, sehingga diketahui susunan dari lapisan tanah yang ada dilokasi tersebut, data pengukuran elevasi ARTG *pad* di lapangan untuk mengetahui elevasinya tiap bulan sehingga dapat diprediksi besar penurunan tanah di tiap blok pelayanan ARTG, data perhitungan konsolidasi pada *Container Yard 05* Tahap 1, serta data spesifikasi teknis *Automated Rubber Tyred Gantry*.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan teoritis dan data pengukuran lapangan. Perhitungan teoritis digunakan untuk mengetahui kapan area reklamasi Tahap 2 derajat konsolidasinya mencapai 90%. Sedangkan pengukuran lapangan digunakan untuk memprediksi kemiringan yang terjadi pada ARTG *pad*. Nantinya prediksi kemiringan ARTG *pad* akibat adanya penurunan tersebut dibandingkan dengan batas toleransi yang ada. Dengan demikian dapat diprediksi kapan masing-masing blok ARTG sistemnya terganggu.

## **DATA-DATA**

Data-data yang diperoleh dari Kantor Teknik Terminal Peti Kemas Semarang yang kemudian diolah adalah sebagai berikut:

### **1. Data Bor Log**

Pada area *Container Yard 05* dilakukan pekerjaan penyelidikan tanah di lapangan yang terdiri dari bor mesin (*machine boring*) sebanyak dua (2) titik dengan kedalaman sampai  $\pm 60$  meter. Dari dua titik pengeboran menunjukkan kondisi lapisan tanah yang hampir sama atau seragam, sampai pengeboran kedalaman 60,0 meter belum

diketemukan tanah keras. Tanah dibawah tanah timbunan sampai kedalaman  $\pm 29,0$  dari permukaan tanah berupa tanah lempung warna dominan abu-abu dengan konsistensi *very soft - soft* (NSPT < 3). Lapisan selanjutnya sampai kedalaman  $\pm 59,0$  dari permukaan tanah berupa tanah lempung warna dominan abu-abu kehitaman dan kecoklatan dengan konsistensi *stiff - very stiff*.

2. Data Uji Laboratorium

Pengujian tanah di laboratorium dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter tanah seperti *liquid limit*, *plastic limit*, kadar air, berat volume, angka pori, kohesi, sudut geser, koefisien konsolidasi, dan lain-lain.

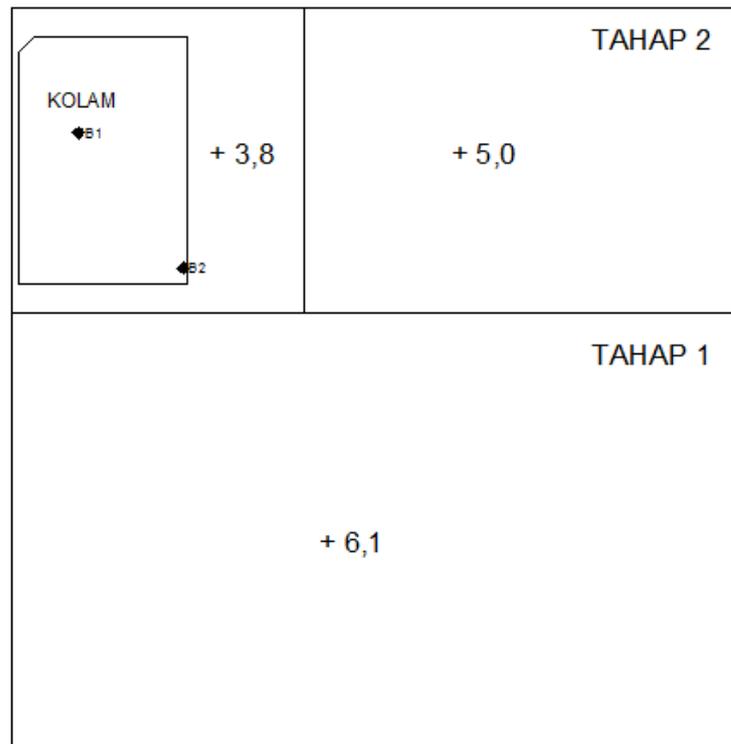
Tabel 1. Data Parameter Tanah Titik BM-2

Jenis Pengujian Parameter	Unit	4,5 – 5,0 m	9,0 - 9,5 m	14,5 – 15,0 m	19,0 – 19,5 m	24,5 – 25,0 m	29,0 – 29,5 m
<b>INDEX PROPERTIES</b>							
Natural Water Content (w)	(%)	60,42	93,30	90,05	69,11	69,88	73,05
Wet Density ( $\gamma_m$ )	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,64	1,49	1,47	1,59	1,60	1,53
Dry Density ( $\gamma_d$ )	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,02	0,77	0,78	0,94	0,94	0,88
Void Ratio (e)	-	1,40	2,36	2,35	1,69	1,62	1,82
Porosity (n)	-	0,58	0,70	0,70	0,63	0,62	0,82
Degree of Saturation (Sr)	(%)	100,00	100,00	99,61	100,00	100,00	100,00
Spesific Gravity (Gs)	-	2,45	2,58	2,60	2,53	2,46	2,50
<b>TRIAXIAL TEST</b>							
Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	°	<i>sangat lunak</i>	<i>sangat lunak</i>	0,736	0,381	1,217	3,526
Kohesi (C)	kg/cm <sup>2</sup>	<i>sangat lunak</i>	<i>sangat lunak</i>	0,0732	0,1092	0,1748	0,2820
<b>ATTERBERG LIMIT</b>							
LL	(%)	56,00	67,50	83,00	64,50	70,50	77,00
PL	(%)	25,96	32,20	19,06	26,54	31,68	33,01
IP	(%)	30,04	35,30	63,94	37,98	38,82	43,99
Soil classification		CH	CH	CH	CH	CH	CH
<b>GRAIN SIZE ANALYSIS</b>							
Lolos Saringan no. 200 (0,075)	(%)	76,92	98,76	98,13	99,18	98,74	98,99
Butiran < 2 $\mu$ m (0,002mm)	(%)	35,04	52,52	50,94	47,28	59,36	61,94
Gravel	(%)	8,35	0,17	0,36	0,00	0,24	0,19
Sand	(%)	14,73	1,07	1,51	0,82	1,02	0,82
Silt	(%)	41,88	46,25	47,20	51,90	39,39	37,05
Clay	(%)	35,04	52,52	50,94	51,90	39,39	37,05
Activity	-	0,857	0,672	1,255	47,280	59,360	61,940
<b>CONSOLIDATION TEST</b>							
Cc	-	0,499	0,794	0,794	0,911	0,685	0,793
Cv	m <sup>2</sup> /year	1,185	1,667	1,643	1,051	1,130	1,838

Sumber: Laporan Penyelidikan Tanah , 2015

3. Data Perencanaan Timbunan

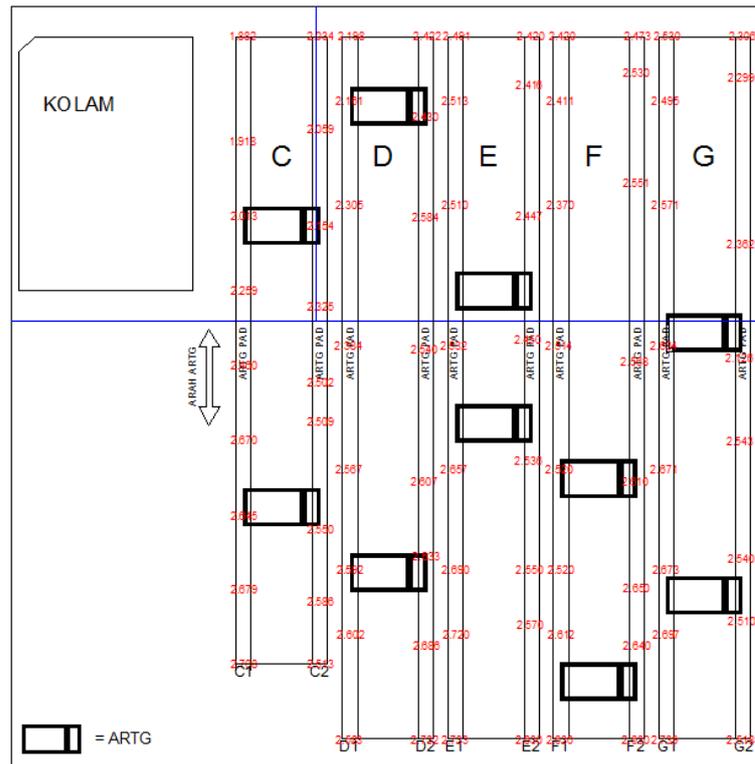
Proyek reklamasi *Container Yard 05* terdiri dari dua tahap. Pada Tahap 1 tinggi timbunan mencapai elevasi + 6,1. Sedangkan pada masa konstruksi Tahap 2 terdapat masalah kekurangan tanah untuk timbunan sehingga area reklamasi Tahap 2 (150 m dari arah timur), timbunan hanya mencapai elevasi + 5. Selama proses pengurugan, terjadi pergeseran pada tanggul di sebelah barat sebesar 35 – 40 cm. Oleh karena itu, proses pengurugan dihentikan dan menyebabkan timbunan di daerah barat (40 m setelahnya dari arah timur) hanya mencapai elevasi + 3,8. Proses pekerjaan perkerasan diberikan saat timbunan + 5 berusia 180 hari, sedangkan timbunan + 3,8 diberikan perkerasan saat berusia baru 90 hari.



Gambar 1. Situasi Timbunan *Container Yard 05*  
(Sumber: Hasil Analisis, 2017)

4. Data Pengukuran Lapangan

Untuk menganalisis perhitungan berdasarkan pengukuran lapangan, dibutuhkan data elevasi pada ARTG *pad*. Data elevasi tersebut didapat dari pengukuran langsung di lapangan yang dilakukan sebanyak dua kali, yakni pada bulan Agustus 2016 dan bulan Maret 2017. Dari dua data yang tersedia, dihitung kemiringan yang terjadi akibat adanya perbedaan elevasi pada ARTG *pad* selama bulan Agustus 2016 dan Maret 2017. Besar kemiringan dihitung dengan mencari selisih antar titik-titik elevasi yang terdapat pada tiap blok pelayanan ARTG *pad*. Setelah besar kemiringan didapat, kami membandingkan hasil tersebut dengan batas toleransi kemiringan pada ARTG *pad* yakni sebesar 2%, dimana besar kemiringan toleransi dihitung berdasarkan jarak antar titik elevasi pada tiap blok.



Gambar 2. Situasi Elevasi di ARTG Pad  
(Sumber: Hasil Analisis, 2017)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Perhitungan Penurunan Tanah Secara Teoritis

Pada perhitungan penurunan tanah secara teoritis, kedalaman tanah yang dihitung hanya sampai kedalaman (H) - 30 m dikarenakan data  $C_c$  dan  $C_v$  yang tersedia hanya sampai kedalaman tersebut. Agar nilai konsolidasi lebih akurat, kami membagi kedalaman tersebut menjadi enam lapisan. Namun dalam menentukan lapisan tanah tetap harus mempertimbangkan hasil pengujian SPT.

Elevation (m)	Layer	H (m)
-4	Layer 1 $C_c = 0,489$ $C_v = 1,185$ $\gamma = 16,4 \text{ kN/m}^3$ $e = 1,40$	3,5 m
-8	Layer 2 $C_c = 0,794$ $C_v = 1,667$ $\gamma = 14,9 \text{ kN/m}^3$ $e = 2,38$	4 m
-12	Layer 3 $C_c = 0,794$ $C_v = 1,643$ $\gamma = 14,7 \text{ kN/m}^3$ $e = 2,35$	5 m
-16	Layer 4 $C_c = 0,911$ $C_v = 1,051$ $\gamma = 15,9 \text{ kN/m}^3$ $e = 1,69$	5 m
-20	Layer 5 $C_c = 0,665$ $C_v = 1,13$ $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $e = 1,82$	5 m
-24	Layer 6 $C_c = 0,793$ $C_v = 1,838$ $\gamma = 15,3 \text{ kN/m}^3$ $e = 1,82$	3,5 m
-28		

Gambar 3. Lapisan-lapisan pada Tanah Reklamasi  
(Sumber: Hasil Analisis, 2017)

### Perhitungan Tegangan Efektif

Lapisan 1

$$\begin{aligned} H_1 &= 3,5 \text{ m} \\ Z_1 &= 1,75 \text{ m} \\ \sigma_v' &= [(\gamma_1 - \gamma_w) \times Z_1] \\ &= [(16,4 - 9,807) \times 1,75] \\ &= 11,5377 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Lapisan 2

$$\begin{aligned} H_2 &= 4 \text{ m} \\ Z_2 &= 2 \text{ m} \\ \sigma_v' &= [(\gamma_1 - \gamma_w) \times H_1] + [(\gamma_2 - \gamma_w) \times Z_2] \\ &= [(16,4 - 9,807) \times 3,5] + [(14,9 - 9,807) \times 2] \\ &= 33,2615 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan tegangan efektif untuk lapisan 3 sebesar 55,68 kN/m<sup>2</sup>, lapisan 4 sebesar 83,142 kN/m<sup>2</sup>, lapisan 5 sebesar 113,86 kN/m<sup>2</sup>, dan tegangan efektif pada lapisan 6 sebesar 138,955 kN/m<sup>2</sup>.

### Perhitungan Penurunan Tanah

Untuk timbunan + 5 (h = 9 m, dari *sea bed* kedalaman - 4)

Lapisan 1

$$\begin{aligned} \sigma_v' &= 11,5377 \text{ kN/m}^2 \\ \Delta\sigma &= \sigma \times H_{\text{timbunan}} \\ &= (18 \times 5 \text{ m}) + ((20 - 9,81) \times 4 \text{ m}) \\ &= 130,76 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sc.1 &= \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \times \log \frac{\sigma_v' + \Delta\sigma}{\sigma_v'} \\ &= \frac{0,499 \times 3,5}{1 + 1,4} \times \log \frac{11,5377 + 130,76}{11,5377} \\ &= 0,794 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan besar Sc.2 = 0,655 m, Sc.3 = 0,622 m, Sc.4 = 0,695 m, Sc.5 = 0,434 m, dan Sc.6 = 0,283 m. Sehingga besar penurunan tanah di area timbunan + 5 ialah sebesar 3,484 m. Untuk mengetahui besar penurunan tanah di area timbunan + 3,8 (h = 7,8 m, dari *sea bed* kedalaman - 4), digunakan cara perhitungan yang sama dengan timbunan + 5. Didapatkan besar Sc.1 = 0,742 m, Sc.2 = 0,587 m, Sc.3 = 0,559 m, Sc.4 = 0,617 m, Sc.5 = 0,382 m, dan Sc.6 = 0,248 m. Sehingga besar penurunan tanah di area timbunan + 3,8 ialah sebesar 3,144 m.

Penurunan tanah tersebut akan berlangsung selama:

$$\begin{aligned} t &= \frac{H^2 dr \times Tv}{C_v} \\ &= \frac{26^2 \times 0,848}{1,350} \\ &= 424,599 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Proses konsolidasi dapat berlangsung dengan waktu yang lebih cepat dengan menggunakan PVD (*prefabricated vertical drain*). Berikut ini analisa penurunan tanah pada proyek reklamasi Tahap 2 dengan menggunakan PVD:

$$\begin{aligned} H_{dr} &= 22,5 \text{ m, besar H sampai kedalaman - 26,5 m (dihitung dari lapisan 1 sampai lapisan} \\ &\quad 5) \text{ karena mandrel (pelindung pada saat PVD dipenetrasikan ke dalam tanah) hanya} \\ &\quad \text{bisa berfungsi dengan baik pada lapisan } \textit{soft clay} \text{ (} c < 20 \text{ kPa)} \\ C_v &= 1,292 \text{ m}^2/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ch &= (kh/ks) \times Cv \\ &= 1,2 \times 1,292 \\ &= 1,550 \text{ m}^2/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } t &= 180 \text{ hari} \\ &= 0,4932 \text{ tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tv &= \frac{Cv \times T}{H^2 d} \\ &= \frac{1,292 \times 0,4932}{22,5^2} \\ &= 0,0013 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Uv &= \frac{\sqrt{\frac{4Tv}{\pi}}}{\left[1 + \left(\frac{4Tv}{\pi}\right)^{2,8}\right]^{0,179}} \\ &= 0,040 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah spesifikasi PVD yang telah dipasang di *Container Yard 05*:

$$\begin{aligned} \text{Spasi antar PVD, } s &= 1 \text{ m} \\ \text{Diameter hidrolis, } de &= 1,05 \text{ m} \\ \text{Lebar PVD} &= 100 \text{ mm} \\ \text{Tebal PVD} &= 4 \text{ mm} \\ \text{Diameter ekivalen PVD, } dw &= \frac{2(a+b)}{\pi} \\ &= \frac{2(100+4)}{\pi} \div 1000 \\ &= 0,0662 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tr &= \frac{Ch \times t}{de^2} \\ &= \frac{1,550 \times t}{1,05^2} \\ &= 0,6935 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(n) &= \ln\left(\frac{de}{dw}\right) - 0,75 \\ &= \ln\left(\frac{1,05}{0,0662}\right) - 0,75 \\ &= 2,0141 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 2 \times F(n) \\ &= 2 \times 2,0141 \\ &= 4,0282 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ur &= 1 - \exp\left(\frac{-8 Tr}{F}\right) \\ &= 1 - \exp\left(\frac{-8 \times 0,6935}{4,0282}\right) \\ &= 0,7477 \end{aligned}$$

$$U = 1 - [(1 - Uv)(1 - Ur)]$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - [(1 - 0,040)(1 - 0,7477)] \\
 &= 0,7578
 \end{aligned}$$

Nilai derajat konsolidasi timbunan + 5 setelah 180 hari (umur timbunan saat akan diberikan perkerasan) ialah 75,78%, sehingga besar penurunan yang sudah terjadi sebesar  $75,78\% \times 3,484 \text{ m} = 2,639 \text{ m}$ . Nilai derajat konsolidasi timbunan + 5 akan mencapai 90% setelah 300 hari dengan penurunan sebesar 3,151 m. Dengan cara perhitungan yang sama, didapatkan nilai derajat konsolidasi timbunan + 3,8 setelah 90 hari (umur timbunan saat akan diberikan perkerasan) ialah 45,26%. Besar penurunan yang terjadi saat itu ialah sebesar  $45,26\% \times 3,144 \text{ m} = 1,423 \text{ m}$ . Nilai derajat konsolidasi timbunan + 3,8 akan mencapai 90% setelah 360 hari dengan penurunan sebesar 2,845 m.

### ***Perhitungan Batas Ketinggian Timbunan Maksimum (Hsafe)***

Tingginya timbunan yang dilaksanakan di lapangan seharusnya berdasarkan perhitungan *Hsafe*, dimana tinggi timbunan tidak boleh melewati batas ketinggian maksimum. Besar ketinggian timbunan maksimum untuk area reklamasi *Container Yard 05* ialah:

$$\begin{aligned}
 H_s &= \frac{N_c \times C_u}{F \times \gamma_e} \\
 &= \frac{5,52 \times 8}{1,3 \times 18} \\
 &= 1,887 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **Analisis Perhitungan Berdasarkan Pengukuran Lapangan**

Berdasarkan perhitungan batas ketinggian timbunan maksimum (*Hsafe*), didapatkan tinggi maksimum timbunan ialah 1,887 m. Sedangkan dalam pelaksanaannya, tinggi timbunan area reklamasi Tahap 2 lebih besar dari 1,887 m. Hal tersebut menyebabkan timbunan mengalami kegagalan (*failure*) akibat peristiwa *plastic deformation*. Peristiwa tersebut menyebabkan tanah *very soft clay* di bawah timbunan berpindah ke arah barat dan menggeser tanggul *sheet steel pipe pile*. Oleh karena itu, proses pengurangan dihentikan dan menyebabkan timbunan di Blok C dan Blok D, E, F, dan G memiliki tinggi timbunan yang berbeda. Perbedaan tinggi timbunan tersebut berpengaruh kepada nilai derajat konsolidasi (*U*) yang dicapai pada saat area reklamasi akan diberikan perkerasan. Semakin tinggi nilai derajat konsolidasinya, maka akan semakin tinggi nilai *Cu*-nya. Sehingga apabila nilai *Cu*-nya tinggi, daya dukung tanahnya pun semakin besar. Dalam kasus ini, area timbunan sampai dengan elevasi + 5 (Blok D, E, F, dan G) memiliki daya dukung tanah lebih besar dari pada area timbunan sampai dengan elevasi + 3,8 (Blok C). Saat ada beban (dapat berupa tumpukan peti kemas atau ARTG yang tidak bergerak), tanah yang daya dukungnya lebih rendah akan lebih sering mengalami *heaving*. Dimana daerah yang terkena beban akan mengalami penurunan namun daerah yang berada di kanan kirinya akan mengalami kenaikan. Namun kenaikan tersebut tidak begitu signifikan karena tanah *very soft clay* yang mengalami *heaving* terhalang oleh tanah urugan di atasnya. Daerah yang mengalami kenaikan tersebut bertepatan dengan titik tembak pengukuran sewaktu dilakukan pengukuran lapangan, dengan demikian elevasinya lebih tinggi daripada elevasi di pengukuran sebelumnya.

Tabel 2. Tabulasi Pengukuran Lapangan Tahap 2

<b>BLOK C1</b>			
Zona	Titik	Agustus 2016	Maret 2017
		Elevasi	Elevasi
<b>TAHAP 2</b>	1	2,259	2,308
	2	2,214	2,157
	3	2,149	2,21
	4	2,013	2,156
	5	1,882	2,056
	6	1,918	2,036
	7	1,903	1,978
	8	1,882	1,823
	9	1,882	1,795
<b>BLOK D1</b>			
<b>TAHAP 2</b>	1	2,324	2,487
	2	2,305	2,364
	3	2,248	2,296
	4	2,206	2,296
	5	2,161	2,188
	6	2,153	2,155
	7	2,196	2,185
	8	2,198	2,185

Sumber: Data Pengukuran Lapangan, 2017

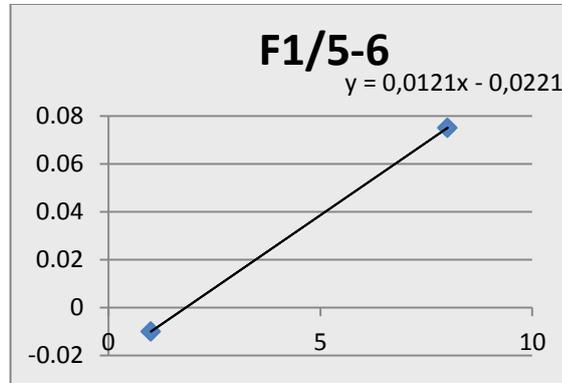
Dalam analisis perhitungan berdasarkan pengukuran lapangan, kami mengambil data hasil pengukuran pada blok F1 Tahap 2 sebagai contoh perhitungan Tabel 3.

Tabel 3. Tabulasi Pengukuran Lapangan Blok F1

<b>BLOK F1</b>									
Zona	Titik	Agustus 2016			Maret 2017				
		Elevasi	Selisih	Jarak	Elevasi	Selisih	Jarak	Slope = 2%	Slope = 2%
<b>TAHAP 2</b>	1	2,42			2,443				
	2	2,37	0,05	9,5	2,367	0,076	9,5	0,19	
	3	2,402	-0,032	10	2,363	0,004	10	0,2	
	4	2,41	-0,008	8,9	2,378	-0,015	8,9	0,178	
	5	2,411	-0,001	10	2,397	-0,019	10	0,2	
	6	2,421	-0,01	10	2,322	0,075	10	0,2	
	7	2,42	0,001	12,14	2,297	0,025	12,14	0,2428	
	8	2,42	0	0,57	2,291	0,006	0,57	0,0114	

Sumber: Data Pengukuran Lapangan, 2017

Besar nilai selisih elevasi (Tahap 2) dimasukkan ke dalam grafik (nilai y) untuk dicari persamaannya sehingga bisa diprediksi besar kemiringan di waktu yang akan datang (dengan nilai x merupakan bulan Agustus 2016 (bulan ke-1) dan bulan Maret 2017 (bulan ke-8)) seperti yang pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Besar Selisih Elevasi dengan Waktu (Bulan)  
(Sumber: Hasil Analisis, 2017)

Dikarenakan keterbatasan data yang tersedia, prediksi dilakukan dengan melakukan pendekatan persamaan linear. Dengan menggunakan persamaan yang dihasilkan (Gambar 5), maka prediksi besar kemiringan terhadap batas toleransi pada waktu yang akan datang dapat dicari seperti yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Prediksi Besar Kemiringan pada Waktu yang akan Datang

Titik ke 5-6			
Bulan ke-	Selisih	Batas Slope	Aman/Tidak
1	-0,01		aman
8	0,075		aman
9	0,0868		aman
10	0,0989		aman
11	0,111		aman
12	0,1231		aman
13	0,1352	0,2	aman
14	0,1473		aman
15	0,1594		aman
16	0,1715		aman
17	0,1836		aman
18	0,1957		aman
19	0,2078		tidak aman

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Berdasarkan tabel di atas, pada bulan ke-19 besar kemiringan Blok F1 ialah sebesar 0,2078, dimana telah melewati batas toleransi kemiringan ARTG sebesar 0,2. Dapat disimpulkan bahwa ARTG yang terdapat pada Blok F1 mengalami gangguan pada bulan ke-19. Untuk mengetahui rangkuman hasil akhir untuk blok lainnya dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Akhir Blok yang Mengalami Gangguan pada Area Reklamasi Tahap 1 dan Tahap 2

TAHAP 1					
BLOK	ARTG Pad	Titik	Jarak (m)	Besar Slope 2%	Bulan
C	C2	7 - 8	9,36	0,1872	Oktober 2017
D	D2	13 - 14	10	0.2	Oktober 2017
E	E1	2 - 3	10	0.2	Aman sampai Juli 2019
F	F1	8 - 9	10	0.2	Agustus 2018
G	G2	5 - 6	10	0.2	Agustus 2018
TAHAP 2					
BLOK	ARTG Pad	Titik	Jarak (m)	Besar Slope 2%	Bulan
C	C2	1 - 2	10	0.2	Maret 2017
D	D1	1 - 2	10	0.2	September 2017
E	E1	5 - 6	9,2	0,184	Juni 2019
F	F1	5 - 6	10	0.2	Februari 2018
G	G2	6 - 7	10	0.2	April 2018

Sumber: Hasil Analisis, 2017

## KESIMPULAN

1. Berdasarkan perhitungan teoritis, timbunan + 3,8 akan mengalami penurunan sebesar 2,845 m, sedangkan timbunan + 5 akan mengalami penurunan sebesar 3,151 m pada saat derajat konsolidasinya mencapai 90%. Derajat konsolidasi ( $U$ ) = 90% tersebut dicapai saat  $t = 300$  hari untuk timbunan + 5, dan  $t = 360$  hari untuk timbunan + 3,8 yaitu pada tahun 2015. Namun pada kenyataannya, sampai dengan tahun 2017 masih terjadi penurunan di area reklamasi Tahap 2,
2. Terjadinya penurunan tanah terus menerus pada area reklamasi di Terminal Peti Kemas Semarang, khususnya pada *Container Yard* 05, dikarenakan lapisan tanah dibawahnya merupakan tanah *very soft clay*,
3. Akibat adanya perbedaan elevasi yang tidak seragam, ARTG *pad* memiliki kemiringan yang berbeda-beda. Kemiringan ARTG *pad* diprediksi akan melewati batas toleransi (sebesar 2%) dan menyebabkan terganggunya sistem ARTG. Dari lima blok pelayanan ARTG, diprediksi Blok C akan terganggu sistemnya paling awal, yaitu pada bulan Maret 2017 dengan kemiringan sebesar 0,201 m. Blok D akan terganggu sistemnya pada September 2017 karena memiliki kemiringan sebesar 0,2127 m. Kemudian pada bulan Februari 2018, Blok F sistemnya terganggu dikarenakan adanya kemiringan ARTG *pad* yang mencapai 0,2078 m. Sistem Blok G terganggu di bulan April 2018 dengan kemiringan sebesar 0,210 m. Sedangkan sistem pada blok E diprediksi akan terganggu paling akhir dibanding blok lainnya yaitu pada bulan Juni 2019 karena adanya kemiringan sebesar 0,1902 m,
4. Adanya perbedaan ketebalan tanah urugan dan perbedaan proses pekerjaan reklamasi pada Tahap 1, Tahap 2 daerah timur, dan Tahap 2 daerah barat berpengaruh terhadap masa layan blok pelayanan ARTG. Pada Tahap 2 daerah barat diketahui akan

mengalami gangguan paling awal yaitu pada bulan Maret 2017. Selanjutnya pada Tahap 2 daerah timur akan mengalami gangguan pada bulan September 2017, dan terakhir pada Tahap 1 di bulan Oktober 2017 akan mengalami gangguan.

## **SARAN**

1. Diperlukan kelengkapan data penyelidikan tanah, seperti penambahan titik bor, nilai-nilai  $C_c$  dan  $C_v$ , maupun hasil uji laboratorium sehingga data-data tersebut dapat lebih mempresentasikan kondisi tanah di lapangan,
2. Saat proses reklamasi, sebelum area reklamasi diberikan perkerasan, derajat konsolidasinya sudah harus mencapai atau mendekati 90%. Dengan demikian tanah yang ditimbun akan lebih stabil saat mulai beroperasi,
3. Secara berkala diperlukan pengukuran elevasi aktual di lapangan, sehingga untuk memprediksi besarnya kemiringan (*slope*) yang akan terjadi dapat diketahui kecenderungannya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Automated RTG*, 2013. Diakses November 2016, dari Konecranes: [http://www.konecranes.com/sites/default/files/download/konecranes\\_artg\\_brochure\\_final\\_0.pdf](http://www.konecranes.com/sites/default/files/download/konecranes_artg_brochure_final_0.pdf)
- Das, B. M., 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M., 2007. *Principles of Foundation Engineering*, Thomsom, London.
- Hardiyatmo, H. C., 2008. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hartlen, J., & W. W., 1991. *Embankments on Organic Soils*, Elsevier Science, Amsterdam.
- Look, B., 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, Taylor and Francis, London.
- Mochtar, I. B., 1994. *Rekayasa Penanggulangan Masalah Pembangunan Tanah-Tanah yang Sulit*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Subandi, 1992. *Manajemen Peti Kemas*, Arcan, Jakarta.
- Suparman, 2015 *Laporan Geoteknik Perpanjangan Dermaga dan Container Yard TPKS*, Politeknik Negeri Semarang, Semarang.
- Wahyudi, H., 1997. *Teknik Reklamasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Wesley, L. D., 2012 *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu*, Andi, Yogyakarta.