

## ANALISIS *CREEP* TERHADAP WAKTU PADA TANAH DASAR DALAM PROYEK REKLAMASI BANDARA KANSAI INTERNATIONAL AIRPORT

Alvin Nicholson<sup>1</sup> dan Chaidir A. Makarim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
Email: Alvin.Nicholson22@gmail.com

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
Email: chaidir259@gmail.com

### ABSTRAK

Bandara *Kansai International Airport* adalah salah satu bandara di Jepang yang dibangun di tengah laut. Pembangunan ini dilakukan karena banyaknya protes penduduk terhadap polusi udara yang akan ditimbulkan bila pembangunan bandara dilaksanakan di tengah pemukiman penduduk. Mengingat bandara ini dibangun di tengah laut dengan tanah dasar lempung, maka salah satu permasalahan yang harus dihadapi adalah *creep*. *Creep* adalah kondisi dimana tanah mengalami penurunan akibat beban statik di atasnya dalam jangka waktu panjang. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar *creep* yang terjadi pada tanah dasar bandara *Kansai International Airport* dengan menggunakan program *Settle 3D*. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa pentingnya memperhatikan *creep* dalam pembangunan konstruksi mengingat bahwa *creep* tidaklah kecil.

Kata kunci: Kansai International Airport, tanah dasar, konstruksi, *creep*, *Settle 3D*.

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Terbatasnya lahan seiring dengan pertumbuhan penduduk menjadi permasalahan di beberapa negara pada saat ini. Meningkatnya penduduk otomatis kebutuhan lahan juga semakin meningkat, akan tetapi lahan sifatnya terbatas yakni tidak bertambah maupun berkurang. Lahan yang layak digunakan untuk perkembangan dan aktifitas penduduk juga semakin berkurang seiring waktu, oleh karena itu untuk mengubah lahan yang tidak layak menjadi berguna bagi penduduk adalah dengan cara reklamasi.

Di Osaka (Jepang), terdapat pulau reklamasi di tengah laut yang digunakan sebagai bandara internasional yaitu *Kansai International Airport* (KIA). Bandara ini didirikan 5 km dari pantai Senshu dengan luas pada pulau I 511 ha dan luas pada pulau II 545 ha. Pembangunan ini dilakukan karena banyaknya protes penduduk terhadap polusi udara yang akan ditimbulkan bila pembangunan bandara dilaksanakan di tengah pemukiman penduduk, oleh karena itu pembangunan bandara ini dilaksanakan di tengah laut yang relatif jauh dari pemukiman penduduk yaitu di *Osaka Bay*.

Namun permasalahan utama yang dihadapi saat konstruksi bandara *Kansai* adalah kemungkinan turunnya lapisan tanah di bawahnya. Permasalahan ini sudah diprediksi karena kondisi bandara tersebut dibangun di tengah laut. Biasanya permasalahan ini disebut dengan *creep*. *Creep* merupakan kondisi dimana tanah mengalami deformasi akibat beban statik di atasnya dalam jangka waktu panjang. *Creep* juga diklasifikasikan sebagai *secondary settlement*. Oleh karena itu, melalui studi ini akan dianalisa seberapa besar dan bahayanya *creep* di tanah dasar pada pembangunan pulau reklamasi bandara *Kansai International Airport*.

### Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya penurunan *creep* yang terjadi pada tanah dasar lokasi pulau reklamasi bandara *Kansai International Airport* dalam kurun waktu 100 tahun dengan beban akibat timbunan dan beban akibat bandara.

## 2. PENURUNAN SEKUNDER/*CREEP*

Penurunan sekunder merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi primer berhenti. Penurunan ini terjadi seiring dengan waktu berlalu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja. Penurunan ini

terjadi karena tegangan air pori berlebih di dalam tanah mengalami disipasi dan tegangan efektif berada dalam keadaan konstan.

Besar penurunan sekunder merupakan fungsi dari waktu ( $t$ ) dan kemiringan kurva indeks pemampatan sekunder ( $C_\alpha$ ). Persamaan kemiringan kurva indeks pemampatan sekunder ( $C_\alpha$ ) dinyatakan dalam persamaan:

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)} \quad (1)$$

Setelah didapatkan  $C_\alpha$ , penurunan konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_p} H \log \frac{t_2}{t_1} \quad (2)$$

Dengan  $C_\alpha$  = indeks pemampatan sekunder,  $S_s$  = penurunan konsolidasi sekunder,  $H$  = tebal lapisan,  $e_p$  = angka pori pada saat konsolidasi primer berakhir,  $t_1$  = waktu konsolidasi primer berhenti dan  $t_2 = t_1 + \Delta t$ .

### 3. PEMODELAN PROGRAM

#### *Input Data*

Dalam pemodelannya pada program *Settle 3D*, diperlukan ketebalan per lapisan tanah. Ketebalan per lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Kedalaman Lapisan Tanah ( KALD, 2005)

	Layer	Kedalaman
Lapisan 1	<i>Holocene Clay</i>	18 m
Lapisan 2	<i>Pleistocene Clay</i>	148 m

Dibutuhkan juga data tanah dan berat jenis masing-masing lapisan tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3

Tabel 2. Berat Jenis Tanah Dasar Bandara *Kansai International Airport* (Tanaka dan Locat, 1999)

Layer	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
	14.5
	14.7
Ma13	15.0
	15.4
	15.8
Dtc	16.7
Ma12	15.1
Doc1	16.4
Ma11U	16.5
Ma11L	16.7
Ma10	16.5
Ma9	16.4
Doc5	15.8
Ma8	17.1
Ma7	16.8

Tabel 3. Data Tanah Dasar pada Bandara Kansai International Airport (Tanaka dan Locat, 1999)

Layer	Sublayer	W <sub>0</sub> (%)	W <sub>p</sub> (%)	W <sub>I</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	CF (%)	G <sub>s</sub>	e <sub>0</sub>	k <sub>vo</sub> (m/s)	C <sub>k</sub>
Ma13	1	110	35	102	67	0	2.67	2.933	2.3E-08	1.5
	2	96	35	99	64	0	2.67	2.56	1.1E-08	1.3
	3	86	32	90	58	0	2.67	2.293	5.0E-09	1.1
	4	74	30	78	48	0	2.67	1.973	2.2E-09	1.0
	5	66	30	66	36	0	2.67	1.76	1.0E-09	0.9
Dtc	1	44	25	55	30	17	2.7	1.195	2.6E-09	0.6
	2	48	25	61	36	30	2.7	1.297	9.8E-10	0.6
	3	40	24	58	33	32	2.7	1.070	4.6E-10	0.5
Ma12	1	79	38	104	65	35	2.66	2.101	1.2E-09	1.1
	2	55	29	76	47	39	2.66	1.453	5.4E-10	0.7
Doc1	1	47	22	71	48	29	2.68	1.259	4.6E-10	0.6
Ma11U	1	56	30	79	49	38	2.71	1.51	5.8E-10	0.8
	2	41	26	62	36	40	2.71	1.112	3.1E-10	0.6
Ma11L	1	49	28	70	42	29	2.69	1.328	8.2E-10	0.7
Ma10	1	43	30	72	42	30	2.69	1.171	4.5E-10	0.6
	2	56	35	92	57	23	2.69	1.499	8.0E-10	0.7
	3	64	37	102	65	27	2.69	1.731	8.1E-10	0.9
	4	48	32	84	52	29	2.69	1.292	4.2E-10	0.6
Ma9	1	55	35	91	57	28	2.69	1.48	6.1E-10	0.7
	2	51	34	90	56	39	2.69	1.383	3.0E-10	0.7
Doc5	1	63	39	105	66	36	2.63	1.645	4.4E-10	0.8
	4	52	36	84	47	52	2.63	1.378	2.4E-10	0.7
Ma8	1	44	31	83	51	33	2.7	1.174	2.4E-10	0.6
	2	54	36	91	56	33	2.7	1.448	4.6E-10	0.7
	3	46	32	60	28	33	2.7	1.241	1.1E-09	0.6
Ma7	1	48	33	80	46	28	2.68	1.28	5.6E-10	0.6
	2	54	37	96	59	29	2.68	1.46	4.9E-10	0.7
	3	46	33	83	50	45	2.68	1.231	1.8E-10	0.6

Untuk mencari penurunan sekunder dibutuhkan nilai *Over-Consolidation Ratio* (OCR) perbandingan rasio Ca/Cc dan nilai Cc untuk dimasukkan ke dalam program Settle 3D yang dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 4. Nilai *Over-Consolidation Ratio* (Watabe, 2008)

Layer	OCR
<i>Holocene Clay</i>	1
<i>Pleistocene Clay</i>	1

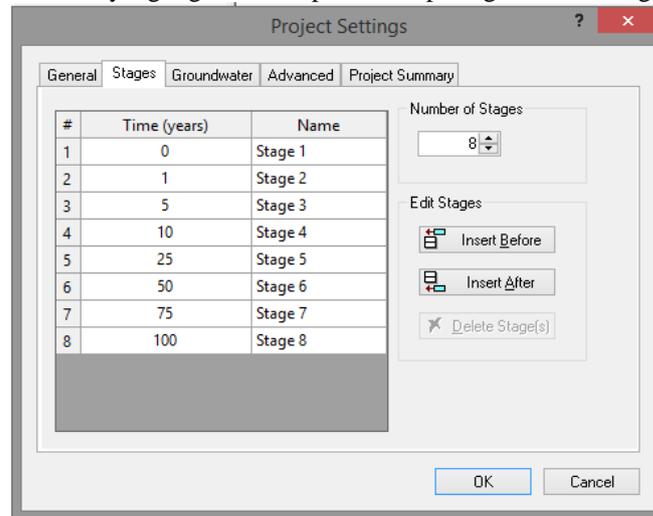
Tabel 5. Nilai Rasio Ca/Cc (Watabe, 2008)

Layer	Ca/Cc
<i>Holocene Clay</i>	0.043
<i>Pleistocene Clay</i>	0.032

Tabel 6. Nilai *Compression Index* (Watabe, 2008)

Layer	Cc
<i>Holocene Clay</i>	1.683
<i>Pleistocene Clay</i>	0.617

Karena analisis dilakukan dengan kurun waktu 100 tahun, maka *stage per year* harus dikonfigurasi pada program tersebut. Konfigurasi tahun yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut.

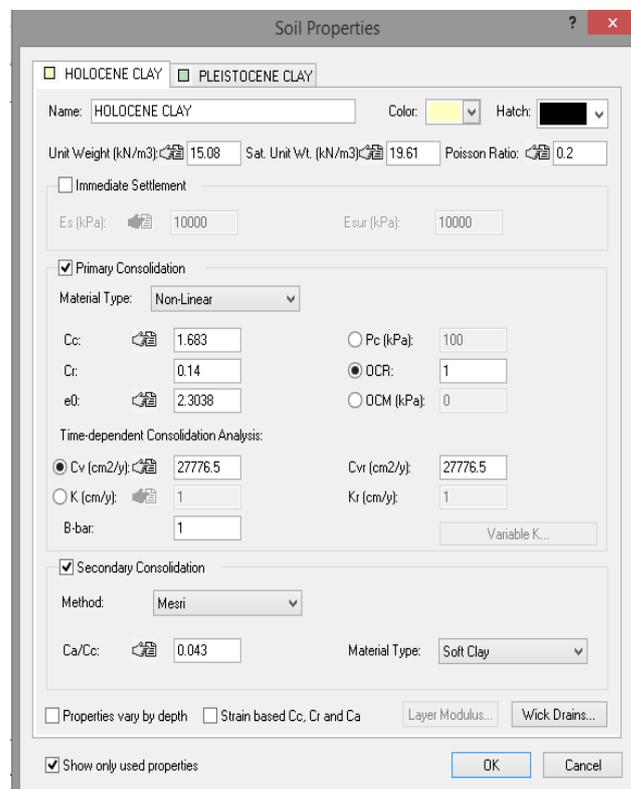


Gambar 1. Konfigurasi Tahun yang Digunakan

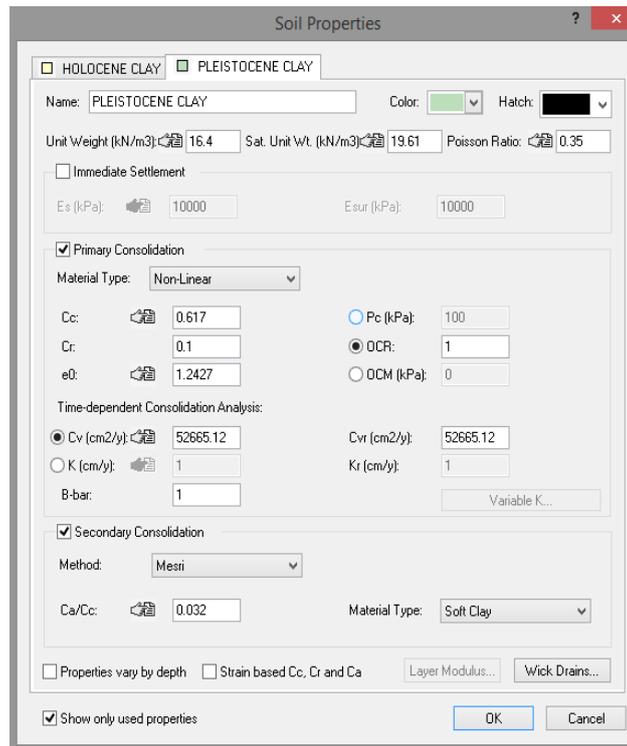
Dalam pemodelan *embankment load*, digunakan beban akibat timbunan dengan berat jenis sebesar  $21 \text{ kN/m}^3$  dan beban akibat bandara dengan berat jenis  $24.5165 \text{ kN/m}^3$  dalam pemodelannya.

### Pemodelan Tanah Dasar

Pemodelan tanah dasar *holocene clay* dan *pleistocene clay* pada program dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



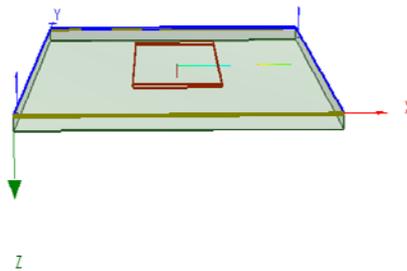
Gambar 2. Pemodelan Tanah Dasar *Holocene Clay* pada Program



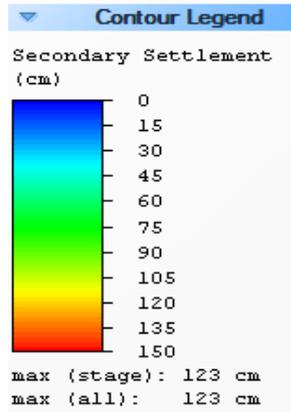
Gambar 3. Pemodelan Tanah Dasar *Pleistocene Clay* pada Program

### Analisis *Secondary Settlement* Akibat Timbunan Reklamasi

Berdasarkan hasil parameter yang sudah didapatkan, dilakukan *input* ke dalam program *Settle 3D*. Hasil analisa program dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut ini.



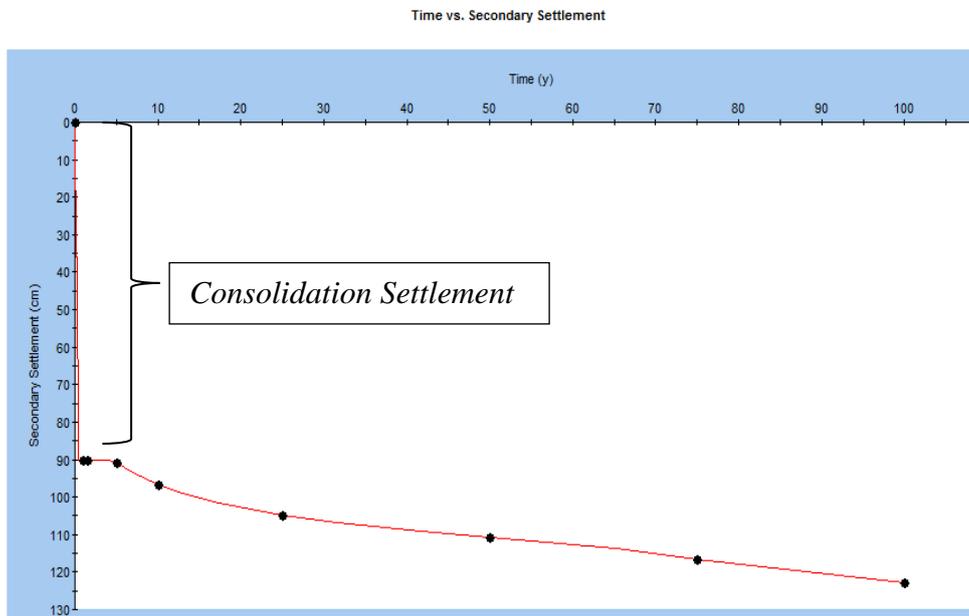
Gambar 4. Pemodelan Analisis Timbunan Reklamasi dalam Bentuk 3D



Gambar 5. Total *Secondary Settlement* Akibat Timbunan Reklamasi

Tabel 7. Besar *Secondary Settlement* per Tahun Akibat Timbunan Reklamasi

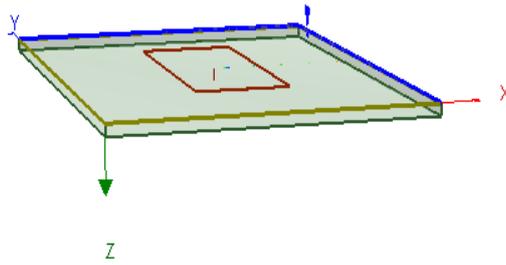
Waktu ( Tahun)	<i>Secondary Settlement</i> (cm)
0	0
1	90
1,5	90
5	90,8
10	96,7
25	105
50	111
75	117
100	123



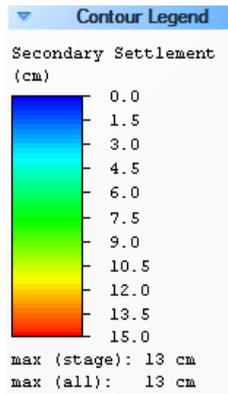
Gambar 6. Grafik Waktu vs *Secondary Settlement* Akibat Timbunan Reklamasi

**Analisis *Secondary Settlement* Akibat Beban Bandara**

Berdasarkan hasil parameter yang sudah didapatkan, dilakukan *input* ke dalam program *Settle 3D*. Hasil analisa program dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut ini.



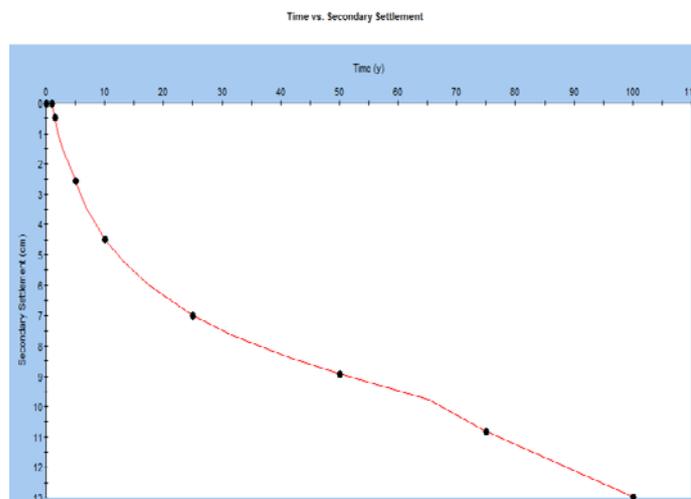
Gambar 7. Pemodelan Analisis Beban Bandara dalam Bentuk 3D



Gambar 8. Total *Secondary Settlement* Akibat Beban Bandara

Tabel 8. Besar *Secondary Settlement* per Tahun Akibat Beban Bandara

Waktu (Tahun)	<i>Secondary Settlement</i> (cm)
0	0
1	0
1,5	0,464
5	2,55
10	4,46
25	6,69
50	8,9
75	10,8
100	13



Gambar 9. Grafik Waktu vs *Secondary Settlement* Akibat Beban Bandara

**Analisis *Secondary Settlement* Akibat Beban Total**

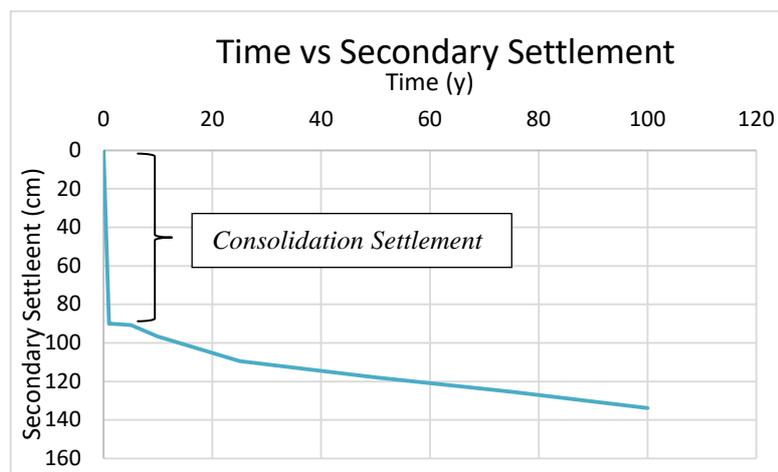
Dari hasil analisa pertama dan kedua, tentu didapatkan total hasil penurunan akibat beban timbunan reklamasi bandara *Kansai International Airport* dan akibat beban bandara. Dikarenakan penimbunan reklamasi dimulai pada tahun 1987 dan bandara memulai pengoperasian pada tahun 1994, maka harus diketahui penurunan rangkai akibat beban bandara 7 tahun lebih awal yaitu pada tahun ke 3, 18, 43, 68, dan 93. Hasil total dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Besar *Secondary Settlement* 7 Tahun Awal Akibat Beban Bandara

Waktu (Tahun)	<i>Secondary Settlement</i> (cm)
0	0
3	0
18	4,46
43	6,86
68	8,42
93	10,8

Tabel 10. Besar *Secondary Settlement* per Tahun Akibat Beban Total

Waktu (Tahun)	<i>Secondary Settlement</i> (cm)
0	0
1	90
1,5	90
5	90,8
10	96,7
25	109,46
50	117,86
75	125,42
100	133,8



Gambar 10. Grafik Waktu vs *Secondary Settlement* Akibat Beban Total

Dilihat dari Tabel 10 di atas dapat disimpulkan bahwa penurunan *secondary settlement* pada bandara *Kansai International Airport* dalam kurun waktu 100 tahun adalah 133,8 cm dan pada grafik pada Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa penurunan *secondary settlement* pada bandara *Kansai International Airport* mengalami penurunan yang sangat besar setelah melewati tahun pertama dalam kurun waktu 100 tahun.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan program berbasis boussinesq, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis total penurunan *secondary settlement/creep* pada tanah dasar *holocene clay* dan *pleistocene clay* menggunakan program Settle 3D, dengan beban timbunan reklamasi didapatkan total penurunan pada tanah dasar sebesar 123 cm dalam kurun waktu 100. Sedangkan dengan beban bandara didapatkan total penurunan pada tanah dasar sebesar 13 cm dalam kurun waktu 100 tahun. Jadi, total *creep/ secondary settlement* pada bandara *Kansai International Airport* adalah 133,8 cm dalam kurun waktu 100 tahun.
2. Dari hasil grafik waktu vs *secondary settlement* dapat disimpulkan bahwa penurunan *secondary settlement* pulau reklamasi bandara *Kansai International Airport* pada tahun pertama lebih besar dibandingkan tahun-tahun sesudahnya karena seiring berjalannya waktu, air dalam tanah terdisipasi.
3. Nilai rasio konsolidasi sekunder vs indeks kompresi ( $C_a/C_c$ ) pada tanah dasar berpengaruh pada angka penurunan *secondary settlement*.
4. Penurunan konsolidasi/ primer akan turun terus karena hanya berpatokan pada rumus empiris yang kebenarannya tidak dapat dibuktikan 100%.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Kansai International Airport Co. Ltd. (KIAC) dan Kansai International Airport Land Development Co. Ltd.(KALD), 2005.
- Watabe, Y.,et.al. *Variability of Physical and Consolidation Test Results for Relatively Uniform Clay Samples Retrieved from Osaka Bay*. Japanese Geotechnical Society. Vol 47. No.4 (Agustus 2007):701-716.
- Tanaka, H. and Locat, J. (1999). *A microstructural investigation of Osaka Bay clay: the impact of microfossils on its mechanical behavior*. Can. Geotech. J., 36, 493-508.

