

## STUDI DIFERENTIAL SETTLEMENT AKIBAT ADANYA PENAMBAHAN SIRTU PADA KELOMPOK TIANG DI BAWAH PONDASI TANGKI

Oleh:

Komarudin

Fakultas Teknik Universitas Wiralodra, Jawa Barat

### ABSTRAK

Kondisi tanah berlapis menjadi salahsatu permasalahan dalam melakukan perencanaan, seperti pada kasus pembangunan pabrik kelapa sawit yang terletak pada Kecamatan Subah Kabupaten Sambas Kalimantan Timur. Pabrik ini akan membangun tangki minyak kelapa sawit dengan pondasi tiang pancang. pondasi tiang pancang tersebut duduk pada jenis tanah yang berlapis, yaitu tanah *Clayey Silt* (tanah lunak) dengan konsistensi *Medium to Hard* dan *Sandy Gravel* dengan konsistensi *Dense to Verry Dense*. Akibat Tanah berlapis pondasi dikawatirkan terjadi kemiringan struktur tangki akibat *differential settlement* yang menyebabkan kegagalan struktur, untuk mengetahui apakah pondasi pada pembangunan pabrik kelapa sawit itu gagal kemudian dianalisa dengan cara memodelkan sesuai dengan kondisi aslinya (tanpa sirtu), dan model berikutnya yaitu dengan menambahkan sirtu sedalam 1 m di bawah raft. Hasil analisis menunjukkan bahwa pondasi tangki akibat *differential settlement* terjadi pada kedua model tetapi kondisinya masih memenuhi syarat ijin. Pada penelitian ini penambahan sirtu mengakibatkan bertambahnya *settlement* sebesar 2.61% karena sirtu dianggap beban tambahan pada pondasi.

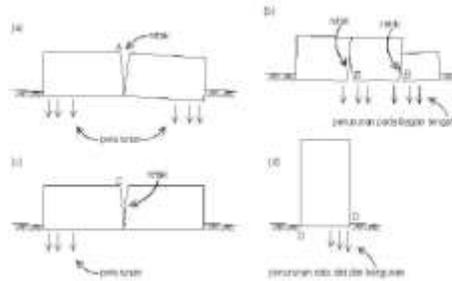
**Kata Kunci:** Pondasi Tiang, *Differential Settlement*

### PENDAHULUAN

*Kabile Estate* adalah suatu proyek pabrik pengolahan kelapa sawit yang terletak pada Kecamatan Subah, Kabupaten Sambas, Kalimantan Timur. Dalam proyek ini, *owner* akan membangun tangki pengolahan kelapa sawit, pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang, pondasi tiang pancang tersebut duduk pada jenis tanah yang berlapis, yaitu tanah *Clayey Silt* (tanah lunak) dengan konsistensi *Medium to Hard* dan *Sandy Gravel* dengan konsistensi *Dense to Verry Dense*. Akibat Tanah berlapis pondasi dikawatirkan terjadinya miringnya struktur tangki akibat *differential settlement* yang menyebabkan kegagalan struktur.

Bila penurunan terjadi secara berlebihan, maka akan nampak mengganggu pandangan mata maupun kesetabilan bangunan, hal yang perlu diketahui mengenai penurunan yaitu: a) Besarnya penurunan yang akan terjadi; b) Kecepatan penurunan. Contoh kerusakan bangunan yang diakibatkan penurunan dapat dilihat dalam **Gambar 1**. Beberapa contoh tipe penurunan bangunan diperlihatkan dalam **Gambar 2**, gambar tersebut menyajikan penurunan seragam dan tak seragam, penurunan tak seragam (*differtial Settlement*) adalah penurunan terbesar dikurangi penurunan terkecil atau  $S = S_{\max} - S_{\min}$ .

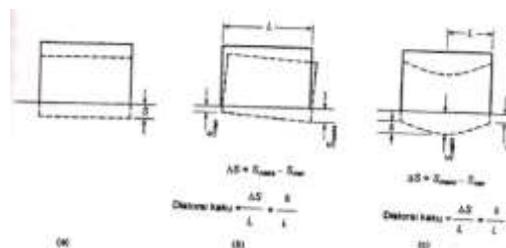
Penurunan tak seragam juga dikarakteristikan oleh rasio  $\delta/L$ , yaitu beda penurunan antara dua titik ( $\delta$ ) dibagi jarak ( $L$ ) kedua titik tersebut. Nilai banding dinyatakan dalam istilah distorsi kaku (*angular distorsion*).



**Gambar 1.**

**Contoh Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan (Hardiyatmo, 2002)**

Penurunan izin dari suatu bangunan atau besarnya penurunan yang telah ditoleransikan, bergantung terhadap beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis, tinggi, kekakuan, fungsi bangunan serta distribusinya. Suatu perencanaan harus dapat memperkirakan besarnya penurunan maksimum dan beda penurunan yang masih dalam batas toleransi. Jika penurunan berjalan lambat, semakin besar kemungkinan struktur untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya kerusakan struktur oleh pengaruh rangkai (*creep*). Oleh karena itu dengan alasan tersebut kriteria penurunan pondasi pada tanah pasir dan pada tanah lempung berbeda.



**Gambar 2.**

**Tipe Penurunan (Hardiyatmo, 2002)**

Karena penurunan dapat diprediksi, umumnya dapat diadakan hubungan antara penurunan izin dengan penurunan maksimum. Skempton dan Mac Donald, 1955, menyarankan batas-batas penurunan maksimum seperti yang disajikan pada **Tabel 1**, sedangkan Bjerrum, 1963, menyarankan hubungan antara tipe masalah struktur dan nilai distorsi kaku ( $\delta/L$ ) dengan  $\delta$  adalah penurunan total dan  $L$  adalah jarak antara 2 kolom atau jarak 2 titik yang ditinjau. Nilai-nilai distorsi kaku dapat dilihat pada **Tabel 2**. Tabel tersebut menjelaskan hubungan distorsi kaku dengan tipe kerusakan yang timbul akibat distorsi kaku.

**Tabel 1.**  
**Batas Penurunan Maksimum**

Jenis Pondasi	Batas Penurunan Maksimum
	(mm)
Pondasi terpisah pada tanah lempung	65
Pondasi terpisah pada tanah pasir	40
Pondasi rakit pada tanah lempung	65-100
Pondasi rakit pada tanah pasir	40-65

**Tabel 2.**  
**Hubungan Tipe Masalah Pada Struktur Dan Distorsi Kaku**

Type masalah	Distorsi kaku
	( $\delta/L$ )
Kesulitan pada mesin yang sensitif terhadap penurunan	1/700
Bahaya pada rangka-rangka dengan diagonal	1/600
Nilai batas untuk bangunan yang tidak diijinkan retak	1/500
Nilai batas dengan retakan pertama diharapkan terjadi pada dinding-dinding panel, atau dengan kesulitan terjadi pada <i>overhead crane</i>	1/300
Nilai pada batas penggulingan (miring) bangunan tingkat tinggi dapat terlihat	1/250
Retakan signifikan dalam panel dan tembok. Batasan yang aman untuk dinding tembok fleksibel dengan $h/L < 1/4$ ( $h$ = tinggi dinding)	1/150

## **METODE PENELITIAN**

### **Lokasi Penelitian**

Pada penelitian ini, Lokasi penelitian berlokasi di Kabile Estate, Kecamatan Subah, Kabupaten Sambas - Kalimantan Barat pada proyek Pembangunan Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit (PPKS) Kabile..

### **Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian ini mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Analisa data tanah (Data lab, data Lapangan dan Korelasi tanah)
2. Analisa data tiang
3. Analisa data raft
4. Membuat geometri
5. Analisa struktur pondasi kondisi eksisting dengan metode elemen hingga (plaxis 3D Foundation)
6. Analisa struktur pondasi kondisi penambahan sirtu di bawah pondasi dengan metode elemen hingga setebal 1 m.
7. Anaisa *settlement* dari kondisi eksisting dan penambahan sirtu.

### **Pemodelan Tanah**

Metode analisis tegangan regangan pada tanah diantaranya Mohr Couloumb, *soft soil*, *hardening soil*, dll. pada penelitian ini model yang akan digunakan adalah model Mohr

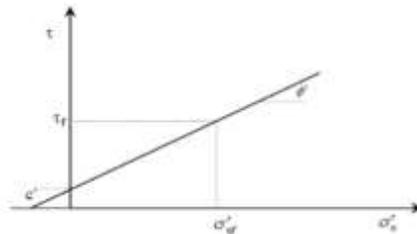
Coulomb. Model ini dikenalkan tahun 1773 oleh insinyur Prancis yaitu Coulomb, Coulomb memperkenalkan analisis tentang gaya dorong yang bekerja pada dinding penahan. Menurut Coulomb, tanah diasumsikan berperilaku sebagai material plastik linear elastis sempurna, sehingga tidak diperlukan pengerasaan atau pelunakkan. Kriteria keruntuhan untuk model ini dapat dilihat dalam **Gambar 3** dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\tau_f = \sigma'_{nf} \tan \phi' + c' \dots\dots\dots(3)$$

Dimana,  $\tau_f$  dan  $\sigma'_{nf}$  adalah tegangan geser dan tegangan normal efektif pada keruntuhan rencana. Hasil fungsi Mohr-Coulomb ketika dirumuskan dalam tegangan utama efektif diberikan sebagai berikut :

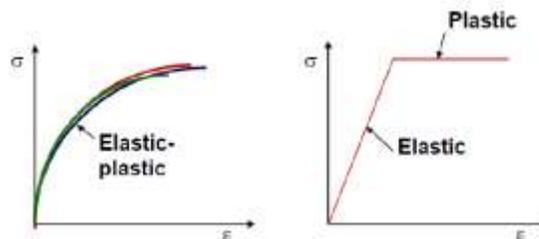
$$f = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin \phi' - c' \cos \phi' \dots\dots\dots(4)$$

Dimana  $\sigma'_1$  dan  $\sigma'_3$  masing-masing adalah tegangan mayor dan tegangan minor pokok efektif. Hasil dari Mohr-Coulomb adalah 2 parameter model plastis yaitu sudut geser ( $\phi'$ ) dan kohesi ( $c'$ )



**Gambar 3. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb**

Pada pemodelan tanah Mohr-Coulomb ada dua fase yang terjadi pada grafik tegangan regangan dapat dilihat pada **Gambar 4** sebagai berikut :



**Gambar 4. Grafik Perfectly Elastic Plastic Model Mohr-Coulomb**

Pada grafik tersebut terlihat bahwa ketika tanah diberi pembebanan, tegangan dan regangan tanah tersebut akan terus bertambah sampai menemukan batas fase elastis, tegangan tanah akan tetap dan hanya regangan yang bertambah. Kondisi tersebut adalah kondisi plastis. Pada model Mohr-Coulomb terdapat lima parameter yang perlu dicari untuk analisis yaitu:

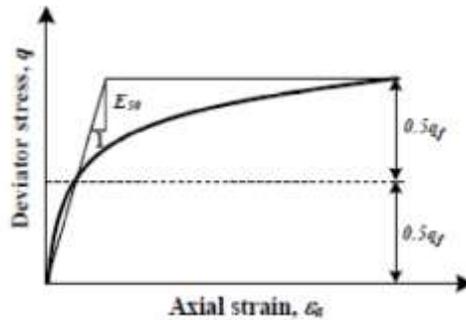
- a. Young Modulus

Modulus young adalah modulus kekakuan dasar yang berhubungan dengan tegangan dan regangan tanah. Umumnya diambil pada kondisi 50%, dilambangkan sebagai  $E_{50}$ , dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Hubungan antara modulus young (E) dan modulus kekakuan lainnya, seperti modulus geser (G) dan modulus bulk (K), adalah sebagai berikut :

$$G = \frac{v}{2(1+v)} \dots\dots\dots(5)$$

$$K = \frac{(1-v)E}{(1-2v)(1+v)} \dots\dots\dots(6)$$



**Gambar 5. Definisi E50**

- b. Poisson Ratio ( $\nu$ )  
Poisson ratio pada tanah kondisi drained berkisar antara 0.3 - 0.4 (Bowls). sedangkan untuk kondisi undrained bernilai 0.5, namun untuk kondisi undrained angka poisson ratio yang disarankan memakai nilai  $\nu = 0.459$ .
- c. Kohesi ( $c'$ )  
Kohesi adalah dimensi tegangan. Dalam software plaxis, untuk tanah yang berkohesi  $c' = 0$ , disarankan untuk mengambil nilai setidaknya  $c' > 0.2 \text{ kN/m}^2$  untuk menghindari komplikasi komputasi.
- d. Sudut Geser ( $\phi'$ )  
Sudut geser diperoleh dari plot tegangan geser terhadap tegangan normal, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3** (kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb). Sudut geser dinyatakan dalam derajat.
- e. Sudut Dilatasi ( $\psi$ )  
Sudut dilatasi dinyatakan dalam derajat. Bolton 1986, dalam kaitan dengan plaxis, merekomendasikan korelasi sudut gesekan dengan sudut dlatansi untuk tanah kohesif.

$$\psi = \phi - 30^\circ \dots\dots\dots(7)$$

Untuk tanah kohesif, yang cenderung memiliki dilatasi kecil, nilai  $\psi = 0$  akan realistis untuk digunakan dalam kasus umum.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Konstruksi Tangki**

Konstruksi tangki Tangki ini tersusun atas atap tangki, dinding tangki dan dasar tangki. Pada dasar tangki, pondasi yang digunakan adalah tiang pancang dengan ukuran 0.25 m

x 0.25 m, tertanam pada kedapdaan 5.5 m sebanyak 67 tiang. Tiang pancang tersebut disatukan oleh pelat yang terbuat dari beton dengan ketebalan 0.5 m.

### Parameter Tanah

Berikut ini adalah parameter tanah asli dapat dilihat pada Tabel 3 & Tabel 4.

**Tabel 3. Parameter Tanah Asli *Clayey Silt***

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	Lempung	-
Pemodelan material	Mohr Couloumb	-
Tipe drainase	Undrained	-
Berat isi ( $\gamma_{unsat}$ )	16.19	kN/m <sup>3</sup>
Berat isi ( $\gamma_{sat}$ )	19.90	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas (E)	2800.00	kN/m <sup>2</sup>
Poissonrasio ( $\nu$ )	0.30	-
Kohesi ( $C_u$ )	23.00	kN/m <sup>2</sup>
Sudut geser ( $\phi$ )	14.13	°

**Tabel 4. Parameter Tanah Asli *Gravel***

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	Gravel	-
Pemodelan material	Mohr Couloumb	-
Tipe drainase	Drained	-
Berat isi ( $\gamma_{unsat}$ )	18.00	kN/m <sup>3</sup>
Berat isi ( $\gamma_{sat}$ )	22.00	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas (E)	62000	kN/m <sup>2</sup>
Poissonrasio ( $\nu$ )	0.2	-
Kohesi (c)	0.1	kN/m <sup>2</sup>
Sudut geser ( $\phi$ )	40.00	°

### Parameter Tiang

Pondasi yang digunakan pada konstruksi tangki ini adalah pondasi tiang pancang, dengan ukuran 0.25 m x 0.25 m, yang terbuat dari beton dengan mutu K-350 kg/cm<sup>2</sup>. Tiang pancang pada Plaxis 3D Foundation dimodelkan dengan *embedded piles*, untuk parameter tiang pancang dapat dilihat pada **Tabel 5**.

**Tabel 5. Parameter Tiang**

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	Tiang	-
Pemodelan material	Linear	-
Tipe Material	Embedded piles	-
Sisi (B)	0.25	m
Berat isi beton ( $\gamma$ )	24.00	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas (E)	30000000	kN/m <sup>2</sup>

**Parameter Pelat (Raft)**

konstruksi pelat (*raft*) dari pondasi tangki yaitu terbuat dari beton dengan mutu beton K-225 kg/cm<sup>2</sup>, ketebalan 0.5 m, pada program Plaxis 3D Foundation dimodelkan dengan model *Cluster*, Berikut ini adalah parameter raft dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Parameter Pelat**

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	Raft	-
Pemodelan material	Linear Elastic	-
Tipe Material	Non-Porus	-
Tebal	0.5	m
Berat isi beton ( $\gamma$ )	24.00	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas (E)	20310000	kN/m <sup>2</sup>
Poissonrasio ( $\nu$ )	0.15	-

**Beban Yang Bekerja**

Beban yan bekerja yaitu 25000 kN, pada perhitungan tangki, beban yang akan dimasukkan adalah beban merata terhadap luasan dari raft. sehingga :

$$\text{Beban} = P/A$$

dengan :

$$P = \text{beban terpusat}$$

$$A = \text{luas}$$

$$d = 20.5 \text{ m}$$

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi (20.5)^2$$

$$= 330.064 \text{ m}^2$$

sehingga,

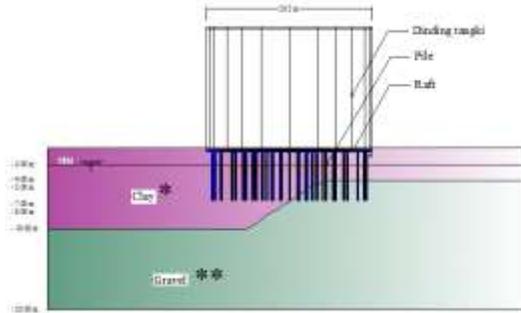
$$\text{Beban} = P/A$$

$$= 25000/330.064$$

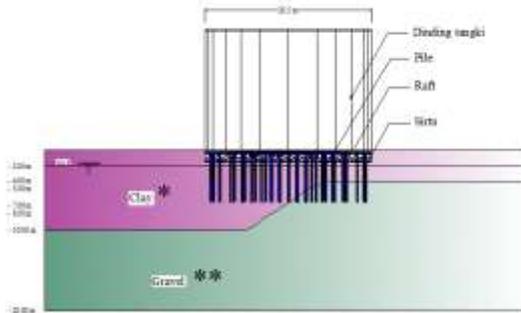
$$= 75.7 \text{ kN/m}^2$$

**Model Analisa**

Model yang akan dianalisa adalah model kondisi asli yang selanjutnya disebut tanpa sirtu dapat dilihat pada **Gambar 6** dan model penambahan sirtu yang selanjutnya disebut dengan sirtu dapat dilihat pada **Gambar 7**



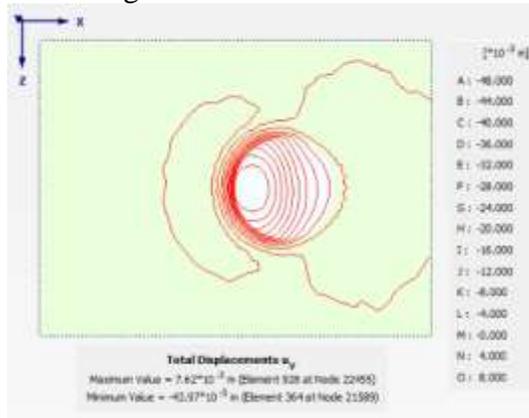
**Gambar 6. Model Kondisi Tangki tanpa sirtu**



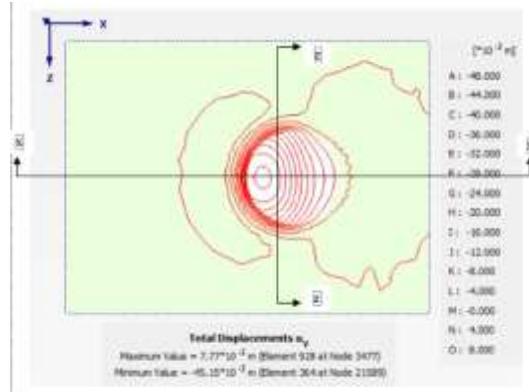
**Gambar 7. Model Kondisi Tangki dengan sirtu**

**Hasil Output**

Hasil output *displacement* dapat dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9** profil *displacement* tanpa sirtu dan dengan sirtu

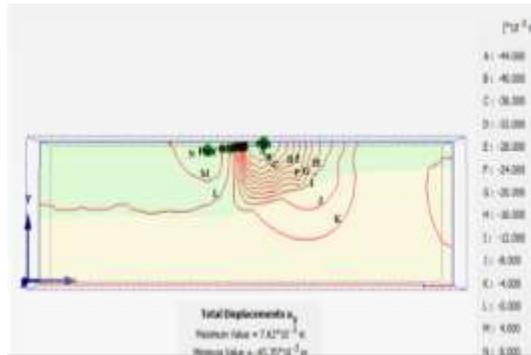


**Gambar 8. Profil displacement Tanpa Sirtu**

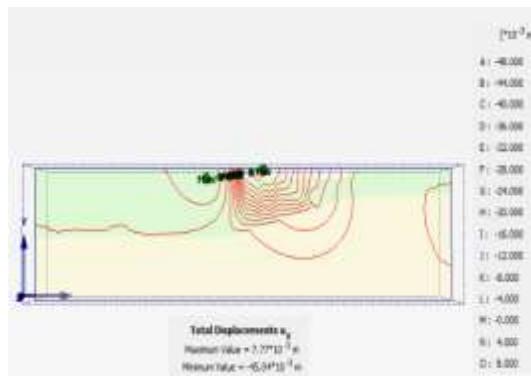


Gambar 9. Profil *displacement* Dengan Sirtu

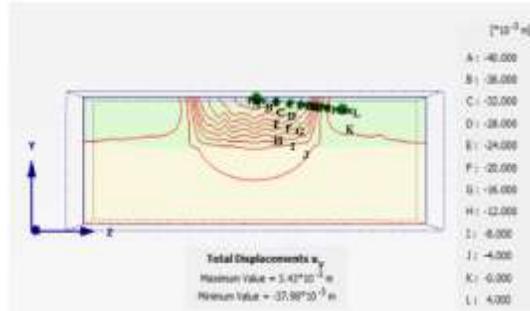
Jika Gambar 8 dan Gambar 9 dipotong searah sumbu x dan z maka dapat dilihat seperti pada Gambar 10-13



Gambar 10. Profil potongan x-x *displacement* Tanpa Sirtu



Gambar 11. Profil potongan x-x *displacement* Dengan Sirtu

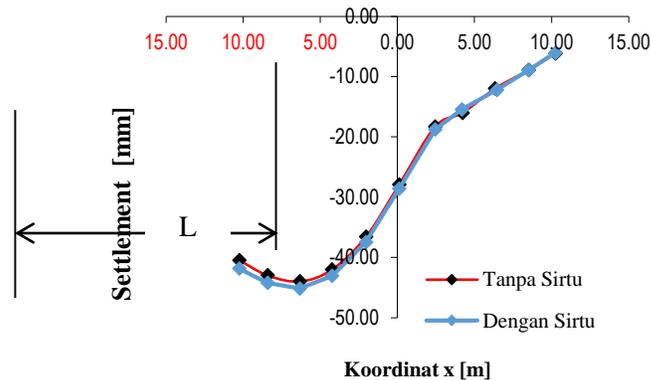


Gambar 12. Profil potongan z-z displacement Tanpa Sirtu



Gambar 13. Profil potongan z-z displacement Dengan Sirtu

Berdasarkan gambar diatas, terlihat bahwa tanah sisi kiri pondasi tangki mengalami pergerakan keatas, sementara pada sisi kanan, tanah mengalami pergerakan kebawah untuk kondisi tanpa sirtu. Kondisi yang dialami pada kondisi tanpa sirtu terjadi juga pada kondisi dengan sirtu. Pergerakan pada sisi kiri (naiknya permukaan tanah) diakibatkan adanya tekanan beban dari tangki sementara pergerakan sebelah kanan diakibatkan terseretnya tanah. pada gambar potongan searah sumbu x-x terjadi perbedaan penurunan yang sangat signifikan, perbedaan penurunan ini menyebabkan terjadinya *differential settlement*, dalam penelitian ini *dispalcement* yang diambil untuk perhitungan *differential settlement* adalah potongan x-x. **Gambar 14** menjelaskan grafik nilai *displacement* pada potongan x-x.



Gambar 14. Grafik Settlement potongan x-x

Dari **Gambar 14**, dapat diperoleh data-data penurunan maksimum, penurunan minimum, serta distorsi kakunya seperti yang terlihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7. Distorsi Kaku**

Uraian	Tanpa Sirtu	Dengan Sirtu	Satuan
Smax	43.97	45.15	mm
Smin	6.15	6.02	mm
$\Delta S$	37.83	39.13	mm
L	14800	14800	mm
Distorsi kaku = $\Delta S/L$	0.0026	0.0026	

Berdasarkan **Tabel 7**, Perhitungan *differential settlement* untuk nilai distorsi kaku tanpa sirtu maupun dengan sirtu sebesar 0.0026, jika dibandingkan nilai ijin distorsi kaku menurut Bjerrum, 1963, dalam Hary Christady, 2002, nilai batas dengan penggulingan (miring) yaitu  $1/250 = 0.004$ , syarat batasan penurunan adalah  $(1/L) \times 14800 = 59.20$  mm, L diambil pada titik penurunan paling besar (penurunan max) terhadap titik ujung tangki. Sehingga nilai *differential settlement* lebih kecil dari nilai syarat batas penggulingan yaitu pada kondisi tanpa sirtu  $37.83 \text{ mm} < 59.20 \text{ mm}$ , sedangkan pada kondisi dengan sirtu  $39.13 \text{ mm} < 59.20 \text{ mm}$ , pada kedua kondisi tersebut *differential settlement* masih memenuhi syarat.

## KESIMPULAN

*Differential settlement* yang terjadi masih memenuhi syarat pada kedua model tersebut, tetapi akibat penambahan sirtu diawah pondasi tangki menyebabkan penurunan maksimum menjadi lebih besar, penurunan ini disebabkan sirtu menjadi beban tambahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. 1997. *Foundation Analysis and Design Fifth Edition*. New York: Mc Graw-Hill Companies.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Teknik Pondasi 1 Edisi 2*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Plaxis 3D Foundation. *Tutorial Manual version 1.5*.