

## STUDI PENANGANAN PONDASI TANGKI PADA KELOMPOK TIANG DENGAN SISTEM PILE RAFT DAN PERPANJANGAN TIANG

**Komarudin**

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wiralodra, Indramayu

### *Abstract*

Layered soil conditions become one of the problems in planning, as in the case of oil palm plant construction located in Subah Sub-district Sambas East Kalimantan. The plant will build a palm oil tank with pile foundation. The pile foundation sits on a clay-type soil, Clayey Silt (soft soil) ground with consistency of Medium to Hard and Sandy Gravel with Dense to Verry Dense consistency. Due to the soil layers of the foundation, it is feared that the slope of the tank structure due to differential settlement in addition to the carrying capacity according to PDA results does not meet so it is feared will cause structural failure, to find out whether the foundation on the palm oil mill construction failed then analyzed by modeling according to the original condition (gravely soil), then the handling is done by adding Gravely soil as deep as 1 m under the raft with the aim of being the foundation with pile-raft system. And the next handling is by extending the pile to the depth of hard soil (gravel). The analysis results show that the handling with the pile-raft system on the load pile-up load of 9.05%, while the extension of the pile increased by 18.31%. For the differential settlement occurring on the tank foundation is still eligible, the addition of gravely soil makes the settlement up by 3.33%, gravelly soil is considered an additional load on the foundation, while on the pile extension down by 77.82%.

**Keywords :** *Pile Raft, Ekstension Pile, Diferential settlement.*

### **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 *diferential settlement* selain itu daya dukung menurut hasil PDA tidak memenuhi sehingga dikhawatirkan akan 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), kemudian penanganan yang dilakukan yaitu dengan cara menambahkan sirtu sedalam 1 m di bawah raft dengan tujuan menjadi pondasi dengan sistem *pile-raft*. serta penanganan selanjutnya yaitu dengan cara memperpanjang tiang pancang sampai kedalaman tanah keras (gravel), Hasil analisis menunjukkan bahwa penanganan dengan sistem *pile-raft* pemikulan beban pada tiang pancang meningkat sebesar 9.05%, sedangkan pada perpanjangan tiang meningkat sebesar 18.31%. Untuk *diferential settlement* yang terjadi pada pondasi tangki masih memenuhi syarat, penambahan sirtu membuat settlement naik sebesar 3.33%, sirtu dianggap beban tambahan pada pondasi, sedangkan pada perpanjangan tiang turun sebesar 77.82%.

**Kata Kunci :** *Pile-raft, Perpanjangan tiang, Diferential Settlement*

**I. PENDAHULUAN**

Kondisi tanah berlapis menjadi salahsatu permasalahan dalam melakukan perencanaan salahsatunya ketika akan mendesain pondasi, pada proyek pabrik pengolahan kelapa sawit yang terletak pada Kecamatan Subah, Kabupaten Sambas, Kalimantan Timur, desain pondasi berdiri pada tanah berlapis, Dalam proyek ini, *owner* akan membangun tangki pengolahan kelapa sawit, pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang dengan kedalaman 4.0 - 5.5 m, berdasarkan data tanah, pondasi ini duduk ditanah *Clayey Silt* (tanah lunak) dengan konsistensi *Medium to Hard dan Sandy Gravel* dengan konsistensi *Dense to Verry Dense*. Berdasarkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) menunjukkan hasil *Qult* (daya dukung *Ultimate*) rata-rata adalah 720 kN jika menggunakan FK sebesar 2 maka *Qijin* (daya dukung ijin) sebesar 360 kN, sementara beban yang direncanakan 500 kN, atau dengan kata lain bahwa pondasi tiang tidak mampu menahan beban rencana. Oleh karena itu, perlu dilakukan tinjauan ulang terhadap pondasi tangki yang ada, studi yang dilakukan adalah dengan cara menambahkan sirtu sedalam 1 m dibawah raft dengan tujuan pondasi berubah menjadi sistem *Pile-Raft*, selain itu pondasi tiang yang ujungnya berdiri pada tanah lunak diperpanjang tiang pancangnya sampai pada tanah keras (gravel).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) pada pondasi tangki.
- 2) Menganalisis *differential settlement* pada pondasi tangki.

Sedangkan lingkup masalah dalam penelitian ini antara lain :

- 1) Beban yang ditinjau adalah beban statik vertikal (V).
- 2) Tanah di bawah *raft* diganti sirtu dengan ketebalan 1 m.
- 3) Tidak dilakukan kajian mengenai efisiensi group pile.
- 4) Menggunakan program elemen hingga berupa program *Plaxis 3D Foundation*.

**II. TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Daya Dukung Tiang Tunggal**

Secara umum perhitungan tiang dihitung berdasarkan tiang tunggal, kemudian jika beban yang dipikul satu tiang tidak memenuhi beban rencana, maka jumlah tiang disesuaikan dengan kebutuhan beban yang diterima. Untuk menganalisis tiang tunggal dengan beban vertikal dilakukan dengan cara menjumlahkan tahanan ujung tiang ( $Q_p$ ) dan tahanan selimut ( $Q_s$ ) antara tiang dan tanah.

**A. Daya Dukung Ujung**

Daya dukung ujung adalah daya dukung yang terjadi pada ujung tiang, besarnya daya dukung ujung ultimit adalah :

$$Q_p = q_p \cdot A \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- $Q_p$  = daya dukung ujung tiang (ton)
- $q_p$  = tahanan ujung satuan luas (ton/m<sup>2</sup>)
- A = luas penampang tiang (m<sup>2</sup>)

**B. Daya dukung selimut**

Daya dukung selimut adalah daya dukung yang dihasilkan dari gesekan antar tiang dan tanah, Gesekan selimut pada tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah. Untuk jenis tanah tanah kohesif dapat menggunakan formula sebagai berikut :

$$F_s = \alpha \cdot C_u \dots \dots \dots (2.2)$$

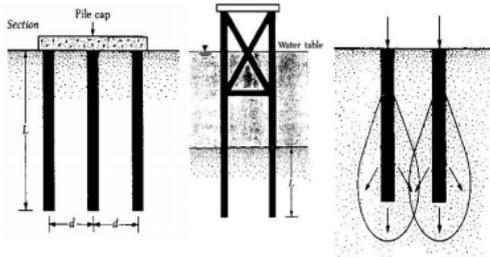
Dimana :

- $\alpha$  = faktor adhesi
- $C_u$  = kohesi tanah (ton/m<sup>2</sup>)

Berdasarkan hasil penelitian *Reese*, faktor koreksi terhadap adhesi ( $\alpha$ ) dapat diambil sebesar 0.55.

**2.2 Daya Dukung Tiang Kelompok**

Pada umumnya pondasi tiang digunakan dalam bentuk kelompok (*group*) untuk meneruskan beban kolom dari struktur atas kelapisan tanah dibawahnya. Tiang-tiang ini disatukan dengan kepala tiang (*pile cap*), *pile cap* bisa terletak langsung diatas tanah ataupun bisa berada diatas permukaan tanah, seperti pada bangunan diatas air. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan penggunaan kepala tiang (*pile cap*) pada kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar. 1 Kepala Tiang Pada Kelompok Tiang (Braja M.Das, 1985)

**2.3 Daya Dukung Berdasarkan Hasil Pile Driving Analyzer (PDA)**

Untuk mengetahui daya dukung hasil PDA, maka harus dilakukan Pengujian dinamis, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya daya dukung ultimate tiang pancang maupun tiang bor tunggal yang dilakukan dilapangan dengan berbagai dimensi dan karakteristik tiang yang telah ditentukan melalui perencanaan sebelumnya. Untuk mengetahui besarnya daya dukung dengan PDA, yang harus diperhatikan adalah Pada saat *drop hammer* ditumbukkan pada kepala tiang, akibat tumbukan tersebut timbul beban dinamik, beban dinamik ini akan menimbulkan regangan pada tiang dan pergerakan relatif (*relative displacement*) yang terjadi antara tiang dan tanah. Regangan dan pergerakan yang terjadi antara tiang dan tanah akan menimbulkan gelombang akibat reaksi perlawanan tanah. Semakin besar kekutan tanah, semakin kuat gelombang perlawanan yang timbul. Gelombang aksi maupun reaksi akibat perlawanan tanah akan direkam, karakteristik dari gelombang-gelombang ini dianalisa untuk menentukan daya dukungnya. Perhitungan gelombang ini dianalisis dengan program CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*), program ini mengeluarkan hasil berupa perbandingan kekuatan daya dukung tiang pancang termasuk distribusi kekuatan friksi tanah disetiap lapisan, tahanan ujung, tegangan tiang, penurunan dan lainnya

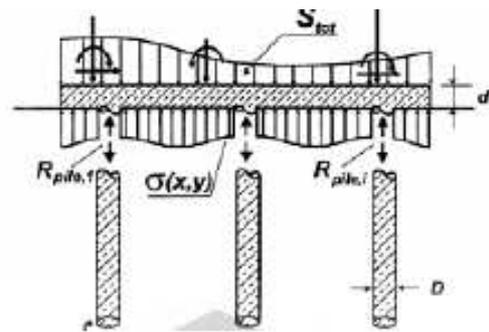
**2.4 Pile raft**

Menurut Katzenbach, Arslan, dan Moormann, 2000, definisi dari pondasi tiang rakit atau yang disebut *pile-raft* adalah suatu sistem pondasi yang bekerja sebagai

konstruksi komposit yang terdiri dari tiga element pendukung, yaitu tiang, rakit dan tanah. Rakit (*pile cap*) mendistribusikan beban dari total struktur ( $S_{tot}$ ) sebagai tegangan kontak, yang dinyatakan  $R_{rakit}$  dan sebagian kepada  $n$  tiang yang dinyatakan  $\Sigma R_{tiang}$ .

$$R_{tiang} = R_{rakit} + \sum_{i=1}^n R_{tiang} > S_{tot} \dots\dots(2.3)$$

Gambar 2 merupakan contoh pondasi tiang rakit menurut Katzenbach, 2004.



Gambar 2 Pondasi Tiang Rakit (Katzenbach, 2004)

**2.4 Analisis Pondasi Pile-Raft**

Ada beberapa metode analisis yang telah dikembangkan untuk menganalisis sistem pondasi tiang-rakit. Poulos dkk, 1997, telah meresume dan membaginya dalam 3 (tiga) bagian, yaitu :

1. Metode perhitungan sederhana.
2. Metode pendekatan komputer.
3. Metode penggunaan komputer.

Untuk metode sederhana diantaranya adalah Metode Hain & Lee, 1978, dan Lee, 1993, metode yang termasuk dalam metode pendekatan komputer dalam menganalisis sistem pondasi rakit ini adalah metode Poulos, 1991, yaitu pendekatan "*strip on Springs*", pendekatan *plate on spings* oleh Clancy dab Randolph, 1993, Poulos, 1994, Viggiani, 1998, Anagnastopoulos dan Georgiadis, 1998, sedangkan metode penggunaan komputer dengan lebih teliti adalah menggunakan metode elemen hingga atau beda hingga.

**2.5 Penurunan (Settlement)**

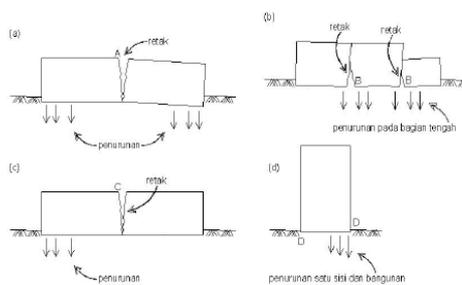
Selain daya dukung tiang, faktor yang tidak kalah penting dalam desain pondasi adalah penurunan. Menurut Hardiyatmo, 2002, istilah penurunan digunakan untuk

menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Jika seluruh permukaan tanah dibawah dan disekitar bangunan turun secara seragam dan penurunan tidak terjadi berlebihan, maka turunnya bangunan akan tidak nampak oleh pandangan mata dan penurunan yang terjadi tidak menyebabkan kerusakan bangunan.

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

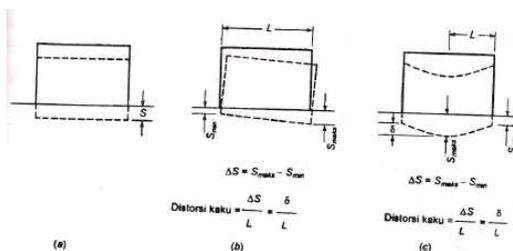
Berikut ini adalah contoh kerusakan bangunan yang diakibatkan penurunan dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Contoh Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan (Hardiyatmo, 2002)

**2.6 Penurunan Izin**

Beberapa contoh tipe penurunan bangunan diperlihatkan dalam Gambar 4, gambar tersebut menyajikan penurunan seragam dan tak seragam, penurunan tak seragam (*differential Settlement*) adalah penurunan terbesar dikurangi penurunan terkecil atau  $S = S_{max} - S_{min}$ . Penurunan tak seragam (*diferential settlement*) 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 4. Tipe 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 rangkakan (*creep*), Oleh karena itu dengan alasan tersebut kriteria penurunan pondasi pada tanah pasir dan pada tanah lempung berbeda.

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 keusakan yang timbul akibat distorsi kaku.

Tabel 1. Batas Penurunan Maksimum (Skempton dan Mac Donald, 1955)

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 (Bjerrum, 1963)

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

III. METODE PENELITIAN

3.1 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.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini mengikuti langkah-langkah seperti diagram yang digambarkan dalam Gambar 5

3.3 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

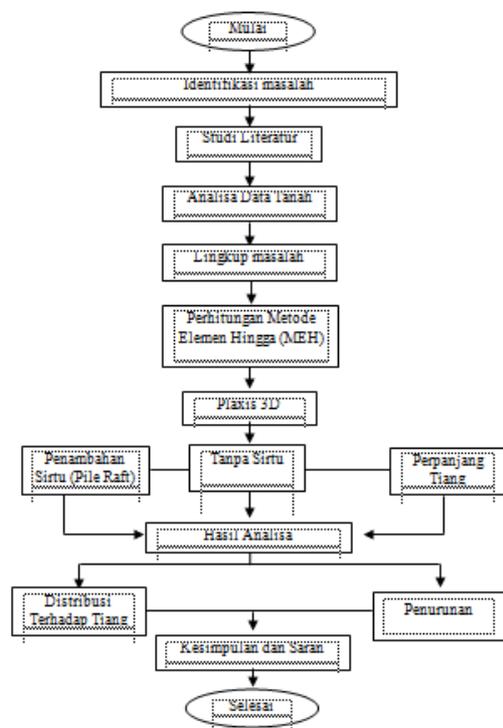
penahan. Menurut Coulomb, tanah diasumsikan berperilaku sebagai material plastik linear elastis sempurna, sehingga tidak diperlukan pengerasaan atau pelunakkan. Kriteria keruntuhan untuk model ini dapat dilihat dalam Gambar 6 dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

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

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 :

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

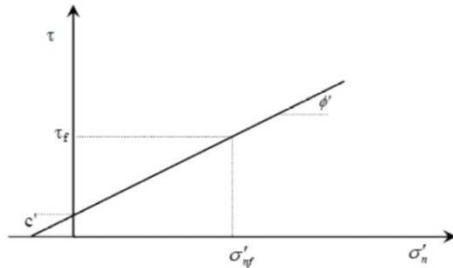
Dimana  $\sigma'_1$  dan  $\sigma'_3$  masing-masing adalah tegangan mayor dan tegangan minor pokok efektif. Hasil dari Mohr-Coulomb adalah 2 parameter model plastis yaitu sudut geser ( $\phi'$ ) dan kohesi ( $c'$ )



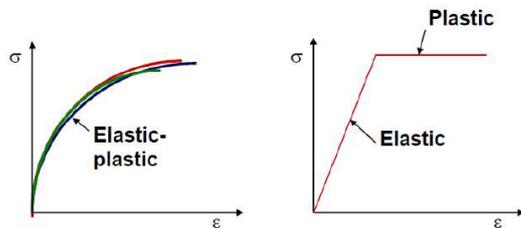
Gambar 5 Diagram Penelitian

Pada pemodelan tanah Mohr-Coulomb ada dua fase yang terjadi pada

grafik tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb



Gambar 7. 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 :

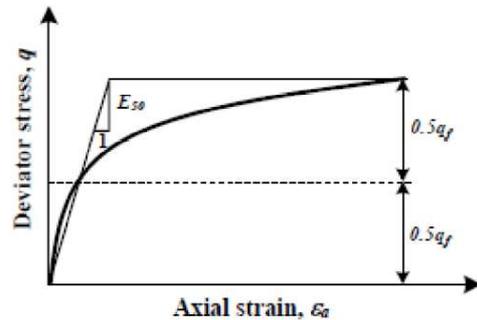
a. Young Modulus

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 8

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

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

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



Gambar 8. Definisi  $E_{50}$

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 7 (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 dilatasi 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.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 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 kepaadaan 5.5 m sebanyak 67 tiang. Tiang pancang tersebut disatukan oleh pelat yang terbuat dari beton dengan ketebalan 0.5 m.

**4.2 Parameter Tanah**

Berikut ini adalah parameter tanah asli dapat dilihat pada Tabel 3 dan 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 <sub>u</sub> )	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	°

**4.3 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>

**4.4 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*. Berikiut 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	-

**4.5 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,

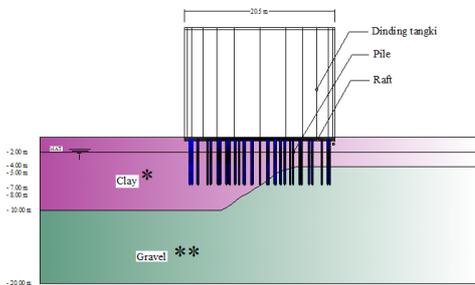
$$\text{Beban} = P/A$$

$$= 25000/330.064$$

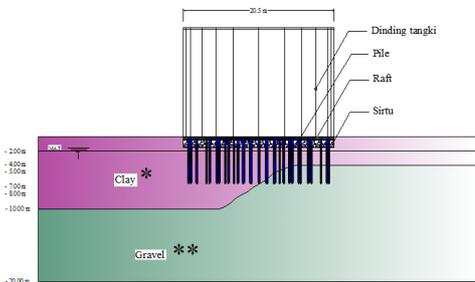
$$= 75.7 \text{ kN/m}^2$$

**4.6 Model Analisa**

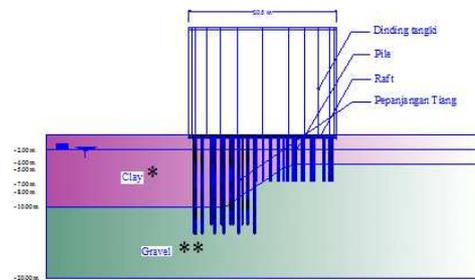
Model yang akan dianalisa adalah model kondisi asli yang selanjutnya disebut tanpa sirtu dapat dilihat pada Gambar 9, kemudian model penambahan sirtu yang selanjutnya disebut dengan sirtu dapat dilihat pada Gambar 10, dan model yang ketiga yaitu dengan penambahan panjang tiang dapat dilihat pada Gambar 11, pada Gambar 11, tiang no 1, 2, 3,4,5, 6,7 21, 22, 23, 24, 25, dan 26 diperpanjang sampai kedalaman 13.3 m dan tiang 27, 28, 29, 30, 31, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 58, 59, 60, 61, 62, dan 66 diperpanjang sampai kedalaman 12,2 m, dengan penomoran tiang seperti yang terlihat pada Gambar 12.



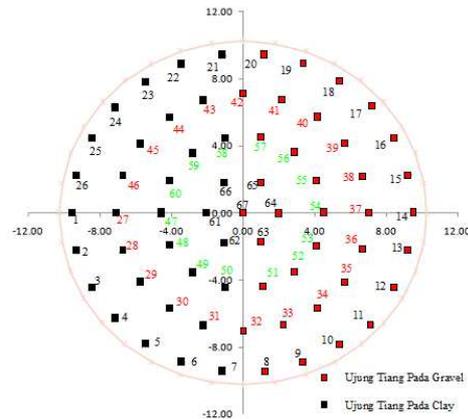
Gambar 9. Model Kondisi Tangki tanpa sirtu



Gambar 10. Model Kondisi Tangki dengan sirtu



Gambar 11. Model Kondisi Tangki dengan perpanjangan Tiang



Gambar 12. Penomoran Tiang

**4.7 Hasil Output**

**A. Gaya Aksial**

Berikut ini adalah hasil output dari gaya aksial dari masing-masing tiang, untuk tiang-tiang yang duduk pada ujung clay dapat dilihat pada Tabel 7, sedangkan untuk tiang yang duduk pada ujung gravel dapat dilihat pada Tabel 8. Data aksial tersebut kemudian diolah menjadi Faktor Keamanan (FK) pada desain tiang dengan cara membandingkan hasil uji lapangan berdasarkan data PDA, data PDA dapat dilihat pada Tabel 9.

faktor keamanan tiang pancang dihitung dengan cara membagi nilai hasil PDA dengan nilai otuput hasil gaya aksial masing-masing tiang, pada kasus ini, nilai PDA yang dijadikan standar untuk menghitung faktor keamanan tiang yang duduk pada ujung clay diambil data PDA terkecil yaitu 59 ton (590 kN) dan untuk tiang yang duduk pada ujung gravel yaitu 99 ton (990 kN). Untuk perpanjangan tiang, data PDA tidak tersedia sehingga diambil 990 kN, pada kenyataannya nilai tersebut tentu lebih kecil, karena ada penambahan gesekan selimut dan ujung tiang. Berikut ini adalah contoh perhitungan FK untuk tiang no 1 yang duduk pada ujung clay kondisi tanpa sirtu.

$$\begin{aligned}
 FK &= PDA / \text{Aksial} \\
 FK &= 590 / 242.65 \\
 FK &= 2.4
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Gaya Aksial di Kepala Tiang Ujung Clay

No tiang	Gaya Aksial Tiang Ujung Clay		
	Tanpa Sirtu (1)	Dengan Sirtu (2)	Perpanjang Tiang (3)
	kN	kN	kN
1	-242.65	-218.57	-339.41
2	-258.15	-240.93	-340.37
3	-265.08	-262.48	-342.32
4	-255.76	-234.36	-338.98
5	-254.81	-243.50	-341.83
6	-254.38	-284.85	-388.50
7	-222.20	-225.24	-490.66
21	-218.68	-216.60	-491.60
22	-254.12	-278.05	-397.81
23	-252.61	-240.35	-339.45
24	-252.60	-234.72	-335.70
25	-266.09	-270.40	-338.49
26	-268.45	-259.49	-345.69
27	-227.57	-261.30	-369.13
28	-227.35	-247.50	-365.12
29	-231.08	-256.91	-380.94
30	-230.18	-242.06	-382.39
31	-228.75	-254.64	-437.42
43	-221.93	-240.69	-446.77
44	-214.57	-218.84	-380.32
45	-219.68	-220.93	-370.16
46	-241.78	-285.50	-381.43
47	-248.23	-257.53	-412.82
48	-254.47	-278.37	-424.86
49	-237.18	-246.77	-434.31
50	-241.88	-279.83	-490.63
58	-250.91	-287.28	-511.32
59	-237.54	-237.04	-428.55
60	-251.43	-271.19	-427.22
61	-218.40	-231.18	-432.20
62	-246.03	-282.66	-496.66
66	-260.19	-288.39	-510.79

Tabel 8. Gaya Aksial di Kepala Tiang Ujung Gravel

No tiang	Gaya Aksial Tiang Ujung Gravel		
	Tanpa Sirtu (1)	Dengan Sirtu (2)	Perpanjang Tiang (3)
	kN	kN	kN
8	-322.25	-347.34	-196.45
9	-337.65	-368.61	-352.35
10	-275.57	-316.75	-369.02
11	-191.61	-223.12	-329.18
12	-247.92	-259.29	-326.30
13	-256.14	-273.66	-316.30
14	-270.93	-288.87	-323.27
15	-247.28	-261.84	-310.68
16	-242.28	-269.48	-326.28
17	-240.23	-271.71	-344.18
18	-291.47	-320.44	-385.33
19	-396.84	-438.93	-386.97
20	-338.78	-380.89	-214.66
31	-228.75	-254.64	-437.42
32	-423.78	-474.35	-231.60
33	-527.27	-595.84	-358.55
34	-439.83	-517.30	-454.18
35	-369.37	-421.53	-411.44
36	-325.58	-364.18	-382.00
37	-316.80	-344.87	-363.59
38	-364.07	-414.24	-419.67
39	-404.67	-478.01	-448.81
40	-400.11	-447.61	-373.77
41	-342.98	-379.28	-259.76
42	-392.14	-441.66	-217.54
43	-221.93	-240.69	-446.77
51	-419.98	-476.12	-282.66
52	-499.55	-566.69	-377.94
53	-434.23	-503.26	-402.07
54	-356.08	-409.93	-348.75
55	-556.29	-645.02	-504.00
56	-385.25	-453.01	-310.85
57	-463.22	-534.92	-315.45
63	-372.47	-436.69	-246.83
64	-335.06	-396.33	-260.98
65	-379.88	-450.80	-251.17
67	-380.65	-451.76	-203.14

Tabel 9. Data Pengujian PDA (PT.

No. Tiang	Dimensi (cm)	Panjang (m)	PDA (ton)
TP 01 (OST 1)	25 x 25	5.6	99
TP 42 (OST 1)	25 x 25	5.6	67
TP 53 (OST 1)	25 x 25	5.6	59
TP 42 (OST 2)	25 x 25	5.6	65
TP 34 (OST 2)	25 x 25	5.6	71
TP 51 (OST 2)	25 x 25	5.6	76

Berikut ini adalah hasil perhitungan faktor keamanan pada masing-masing tiang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai Faktor Keamanan

No tiang	Faktor Keamanan		
	Tanpa Sirtu	Dengan Sirtu	Perpanjang Tiang
1	2.4	2.7	2.9
2	2.3	2.4	2.9
3	2.2	2.2	2.9
4	2.3	2.5	2.9
5	2.3	2.4	2.9
6	2.3	2.1	2.5
7	2.7	2.6	2.0
21	2.7	2.7	2.0
22	2.3	2.1	2.5
23	2.3	2.5	2.9
24	2.3	2.5	2.9
25	2.2	2.2	2.9
26	2.2	2.3	2.9
27	2.6	2.3	2.7
28	2.6	2.4	2.7
29	2.6	2.3	2.6
30	2.6	2.4	2.6
31	2.6	2.3	2.3
43	2.7	2.5	2.2
44	2.7	2.7	2.6
45	2.7	2.7	2.7
46	2.4	2.1	2.6
47	2.4	2.3	2.4
48	2.3	2.1	2.3
49	2.5	2.4	2.3
50	2.4	2.1	2.0
58	2.4	2.1	1.9
59	2.5	2.5	2.3

60	2.3	2.2	2.3
61	2.7	2.6	2.3
62	2.4	2.1	2.0
66	2.3	2.0	1.9
8	3.1	2.9	5.0
9	2.9	2.7	2.8
10	3.6	3.1	2.7
11	5.2	4.4	3.0
12	4.0	3.8	3.0
13	3.9	3.6	3.1
14	3.7	3.4	3.1
15	4.0	3.8	3.2
16	4.1	3.7	3.0
17	4.1	3.6	2.9
18	3.4	3.1	2.6
19	2.5	2.3	2.6
20	2.9	2.6	4.6
31	4.3	3.9	2.3
32	2.3	2.1	4.3
33	1.9	1.7	2.8
34	2.3	1.9	2.2
35	2.7	2.3	2.4
36	3.0	2.7	2.6
37	3.1	2.9	2.7
38	2.7	2.4	2.4
39	2.4	2.1	2.2
40	2.5	2.2	2.6
41	2.9	2.6	3.8
42	2.5	2.2	4.6
43	4.5	4.1	2.2
51	2.4	2.1	3.5
52	2.0	1.7	2.6
53	2.3	2.0	2.5
54	2.8	2.4	2.8
55	1.8	1.5	2.0
56	2.6	2.2	3.2
57	2.1	1.9	3.1
63	2.7	2.3	4.0
64	3.0	2.5	3.8
65	2.6	2.2	3.9
67	2.6	2.2	4.9

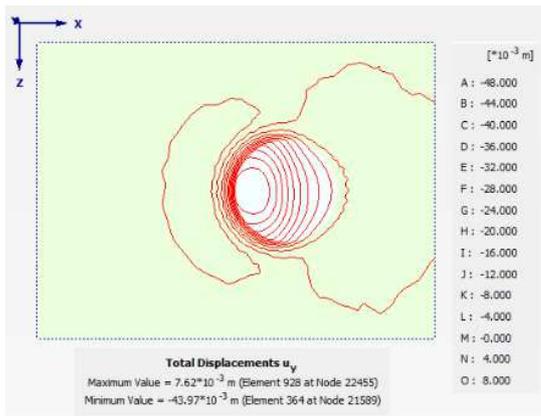
Jika dijumlahkan nilai gaya aksial untuk masing-masing kondisi, dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai Penjumlahan Gaya Aksial Tiang

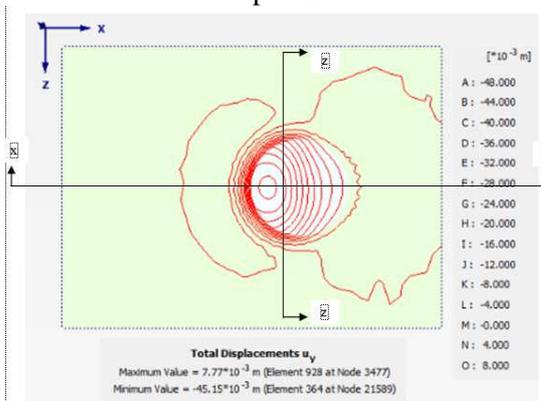
Kondisi Tiang	Tanpa Sirtu (kN)	Dengan Sirtu (kN)	Perpanjang Tiang (kN)
Ujung tiang clay	-7754.71	-8098.15	-12913.84
Ujung tiang gravel	-12998.86	-14719.67	-12489.90
Jumlah	-20753.57	-22817.81	-25403.75

**B. Displacement**

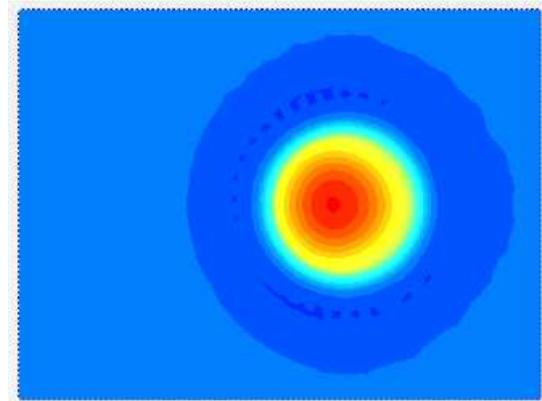
Selain daya dukung tiang, faktor penentu kestabilan struktur pondasi adalah dinilai dari penurunannya, berikut ini adalah tampak atas profil penurunan seperti yang terlihat pada Gambar 13 - 15.



Gambar 13. Profil displacement Tanpa Sirtu

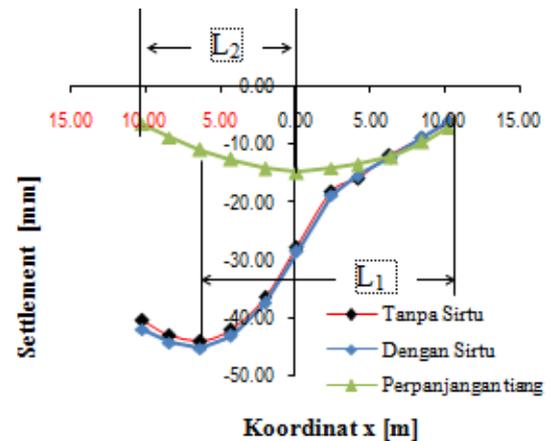


Gambar 14. Profil displacement Dengan Sirtu



Gambar 15. Profil displacement Perpanjang Tiang

Dari Gambar diatas, ketika dipotong pada sumbu x - x, maka akan mendapatkan profil Penurunan (displacement ) seperti Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Settlement potongan x - x

Dari Gambar 11, dapat diperoleh data-data penurunan maksimum, penurunan minimum, serta distorsi kakunya seperti yang terlihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Distorsi Kaku

Uraian	Tanpa sirtu	Dengan Sirtu	Perpanjang tiang	Satuan
Smax	43.97	45.15	14.88	mm
Smin	6.15	6.02	6.49	mm
$\Delta S$	37.83	39.13	8.39	mm
L	14800	14800	10250	mm
Distorsi kaku = $\Delta S/L$	0.0026	0.0026	0.0008	

Berdasarkan Tabel 12, Perhitungan penurunan tidak seragam (differential

*settlement*) untuk nilai distorsi kaku tanpa sirtu maupun dengan sirtu sebesar 0.0026, sedangkan pada penambahan tiang distorsi kaku sebesar 0.0008, 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 nilai distorsi kaku standar penggulingan dikali nilai  $L$ , sehingga  $0.004 \times 14800 = 59.20$  mm,  $L$  diambil pada titik penurunan paling besar (penurunan max) terhadap titik ujung tangki, Berdasarkan hal diatas, nilai *differential settlement* lebih kecil dari nilai syarat batas penggulingan yaitu pada kondisi tanpa sirtu  $37.83$  mm <  $59.20$  mm, pada kondisi dengan sirtu  $39.13$  mm <  $59.20$  mm, dan pada kondisi perpanjangan tiang yaitu  $8.39$  mm <  $59.20$  mm pada ketiga kondisi tersebut *differential settlement* masih memenuhi syarat.

## V. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Daya dukung tiang pancang masih memenuhi syarat, pada tiap kondisi penanganan dengan penambahan sirtu naik 9.05 % sedangkan perpanjangan tiang mengalami kenaikan 18.31%.
2. *Differential settlement* yang terjadi masih memenuhi syarat pada ketiga model tersebut, tetapi akibat penambahan sirtu diawah pondasi tangki menyebabkan penurunan maksimum menjadi lebih besar, penurunan ini disebabkan sirtu menjadi beban tambahan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Bowles, J. E., (1997), "Foundation Analysis and Design Fifth Edition", Mc Graw-Hill Companies, New York.
2. Canonica, Lucia., (2013), "Memahami Fondasi", Angkasa, Bandung.
3. Carter, Michael dan Bentley, P. Stephen., (1991). "Corelation Of Soil Properties", Pantech Press, London.
4. Das, Braja M., Endah, Noor, Mochtar, Indrasurya B. (1985a), "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1", Erlangga, Jakarta.
5. Das, Braja M., Endah, Noor, Mochtar, Indrasurya B. (1985b), "Mekanika Tanah

(Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2", Erlangga, Jakarta.

6. Das, Braja, M. (2011), "Principles of Geotechnical Engineering seventh edition", Canada: Thomson Canada Limited.
7. Hardiyatmo, Hary Christady, (2002), "Teknik Pondasi 1 Edisi 2", Beta OFFSET, Yogyakarta.
8. Natasya, Bianca., (2011), "Studi Pemakaian Pondasi Tiang-Rakit Pada Sebuah Proyek Apartemen Di Jakarta Dengan Menggunakan Metode Konvensional Poulos Dan Plaxis Dua Dimensi".
9. Poulos, H.G dan E.H Davis., (1980), "Pile Foundation Analysis and Design", United Stated of America : John Willey & Sons, Inc.
10. Plaxis 3D Foundation, "Tutorial Manual version 1.5".
11. Rahardjo, P. P., (2013), "Manual Pondasi Tiang Edisi 4", GEC Unpar, Bandung.
12. Sutarman, Encu., (2013), "Konsep dan Alikasi Mekanika Tanah", Andi, Yogyakarta.