

KAJIAN KAPASITAS DUKUNG FONDSI TIANG PANCANG PADA TANGKI TIMBUN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DAN MEYERHOF

Mahasti Novadila Dwitasari

Prodi Teknik Sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
mahastidwitasari19@gmail.com

Miftahul Fauziah

Prodi Teknik Sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
miftahul.fauziah@uii.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan PPKS Kabile di Kalimantan ingin mengembangkan hasil olahan kelapa sawit dengan membangun tangki timbun untuk menyimpan hasil pengolahan sebelum didistribusikan kepada konsumen. Tangki timbun direncanakan menggunakan fondasi tiang pancang ukuran 0,25 m x 0,25 m, panjang tiang 5,5 m sebanyak 67 tiang untuk tangki kapasitas 25.000 kN. Uji PDA menunjukkan Q_{ult} rata-rata 728,3 kN dengan SF 2 Qizin diperoleh 364,15 kN < 497 kN (beban rencana). Paper ini menyajikan kajian kapasitas dukung tiang pancang dengan beberapa variasi ukuran tiang, menggunakan *Plaxis* dan metode *Meyerhof*. Pemodelan fondasi tangki menggunakan *Plaxis 3D*, dilanjutkan dengan *Plaxis 2D* untuk mendapatkan SF sebagai perhitungan kapasitas dukung. Analisa ulang dilakukan dengan metode *Meyerhof* sebagai *cross check* dengan hasil akhir berupa komparasi kapasitas dukung kedua metode. Berdasarkan *Plaxis* dan *Meyerhof* diperoleh usulan alternatif desain terbaik dari ketiga desain dengan masing-masing Q_{grup} sebesar 48.599,57kN dan 47.009,33 kN keduanya sudah lebih besar dari beban rencana, ditambah dengan perolehan SF manual yang mendekati sama dengan desain-desain lainnya didapat jumlah tiang paling sedikit sehingga kerja tiang lebih efektif dan ekonomis.

Kata kunci: kapasitas dukung, variasi ukuran tiang, *Plaxis*, *Meyerhof*.

1 PENDAHULUAN

Provinsi Kalimantan Barat merupakan salah satu provinsi yang memiliki potensi sumber daya alam yang sangat tinggi di bidang perkebunan kelapa sawit ditambah dengan potensi lahan yang luas dan iklim yang cocok menunjang sejumlah perkebunan di daerah itu untuk memberikan kontribusi besar terhadap pembangunan, Melimpahnya hasil perkebunan kelapa sawit tentunya akan memerlukan ketersediaan tempat untuk penyimpanan. Tangki timbun (*storage tank*) adalah tempat yang digunakan untuk menyimpan produk minyak sebelum didistribusikan kepada konsumen. Melihat keadaan ini, sebuah Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit ingin mengembangkan potensi untuk bisnis baru berupa proyek PPKS Kabile Estate di Kalimantan Barat tepatnya di Kecamatan Subah, Kabupaten Sambas. Perencanaan ulang perlu dilakukan karena hasil uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) menunjukkan bahwa fondasi tidak mampu menahan beban rencana (PT. Duta Marga Lestarindo, 2014). Salah satu alasan mengapa Q_{ult} hasil uji PDA tidak memenuhi, disebabkan karena pada lokasi direncanakannya tangki timbun terdapat tiang tertanam pada tanah lempung yang sebelumnya tidak diketahui.

Hariska (2011) meneliti tentang perbandingan kapasitas dukung dan penurunan pada fondasi tiang bor pada proyek pembangunan Balai Pelatihan Kesehatan Batam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas dukung tiang bor diameter 800 mm sebesar 554,837 ton, lebih besar dari beban struktur sebesar 492,822 ton, dan kapasitas dukung tiang bor dengan diameter 900 mm diperoleh sebesar 628,033 ton, lebih besar dari beban struktur sebesar 507,012 ton. Penurunan fondasi tiang tunggal pada fondasi tiang bor diameter 800 mm sebesar 0,02185 m, pada tiang kelompok sebesar 0,12179 m. Penurunan fondasi tiang tunggal pada fondasi tiang bor diameter 900 mm sebesar 0,02398 m dan pada tiang kelompok sebesar 0,10830 m. Analisa penurunan 9 kelompok tiang bor dengan program *Plaxis 3D* diperoleh tiang dengan diameter 800 mm sebesar 0,06198 m dan penurunan kelompok tiang bor diameter 900 mm sebesar 0,05641 m.

Kajian tentang fondasi tersebut sebelumnya pernah dilakukan oleh Komarudin (2016), dengan menggunakan metode *pile-raft*. Hasil studi tersebut menyimpulkan bahwa gaya aksial yang terjadi pada tiang nilainya lebih rendah dibandingkan tiang yang duduk pada tanah *sandy gravel*. Nilai gaya geser

meningkat seiring kedalaman penimbunan sirtu baik pada tanah *clayel silt* maupun *sandy gravel*. *Differential settlement* tanpa sirtu maupun dengan sirtu untuk jangka pendek sebesar 0,0026 m, sedangkan untuk jangka panjang sebesar 0,0065 m pada kondisi tanpa sirtu dan 0,066 m pada kondisi dengan sirtu. Persentase pemikulan beban jangka pendek tanpa sirtu pada tiang diperoleh sebesar 81,21 %, *raft* 18,79 %, dengan sirtu diperoleh 69,91 %, dan pada *raft* sebesar 30,09 %. Untuk kondisi jangka panjang, persentase pemikulan beban kondisi tanpa sirtu pada *pile* diperoleh 99,23 %, pada *raft* 0,77 % dan dengan sirtu pada *pile* diperoleh 77,25 % pada *raft* sebesar 22,75 %.

Berbeda dengan peneliti sebelumnya yang hanya menganalisis *differential settlement* dan presentase pemikulan beban pada *pile-raft* dengan *Plaxis 3D* (Komarudin, 2016). Paper ini menyajikan hasil perbandingan kapasitas dukung dan penurunan fondasi tiang pancang pada tangki timbun dengan metode Elemen Hingga dengan *Plaxis 3D*, *Plaxis 2D* dan metode *Meyerhof*.

2 KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI

2.1 Kapasitas Dukung dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan *Plaxis*

Proses simulasi dalam *Plaxis 3D* dimulai dengan membuat dan memodifikasi geometri model sehingga menghasilkan model elemen hingga yang sesuai dengan kondisi aslinya. Keluaran hasil *output* program berupa deformasi *mesh*, penurunan, besarnya tegangan-tegangan yang terjadi, serta gaya-gaya dalam dari struktur yang dimodelkan.

Proses simulasi *Plaxis 2D* dimulai dengan membuat dan memodifikasi geometri sehingga menghasilkan model elemen hingga yang sesuai dengan kondisi aslinya. Memasukkan parameter *input* berupa data tanah, pemodelan tiang, dan pemodelan beban. Keluaran hasil *output* program berupa deformasi *mesh*, penurunan, dan *SF*.

2.2 Kapasitas Dukung dengan Metode *Meyerhof*

Daya dukung tiang pancang tunggal dihitung berdasarkan hasil pengujian sondir dengan menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s$$

$$= (A_b \times f_b) + (A_s \times f_s) \tag{1}$$

dengan : Q_{ult} : kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal, A_b : luas penampang tiang, f_p : tahanan ujung

satuan, A_s : keliling tiang dikalikan panjang tiang, dan f_s : tahanan gesek satuan.

$$Q_{izin} = \frac{Q_{ult}}{SF} \tag{2}$$

dengan : SF adalah faktor aman yang digunakan.

Perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$Q_{grup} = Q_{izin} \times n \text{ total tiang} \tag{3}$$

dengan : Q_{izin} : kapasitas dukung izin tiang tunggal, n : adalah jumlah tiang.

2.3 Penurunan Tiang Kelompok

Dalam kelompok tiang (*pile group*) ujung atas, tiang-tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lain dengan *poer* yang kaku, sehingga merupakan satu kesatuan yang kokoh (Hardiyatmo, 2010). Karena penurunan dapat diprediksi, umumnya dapat diadakan hubungan antara penurunan izin dengan penurunan maksimum. *Skempton* dan *MacDonald* (1955), menyarankan batas-batas penurunan maksimum seperti yang masih dalam batas toleransi. Batasan penurunan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas Penurunan Maksimum (*Skempton* dan *McDonald*)

Jenis fondasi	Batas penurunan maksimum (mm)
Fondasi terpisah pada tanah lempung	65
Fondasi terpisah pada tanah pasir	40
Fondasi rakit pada tanah lempung	65-100
Fondasi rakit pada tanah pasir	40-65

*Hardiyatmo (2010)

Penurunan tiang kelompok dengan metode *Meyerhof* berdasarkan data sondir (*CPT*) dapat diperoleh dengan Persamaan (4).

$$S_g = \frac{q \times B_g \times l}{2 \times q_c} \tag{4}$$

$$I = \left[1 - \frac{L}{8 \times B_g} \right] > 0,5$$

$$S_{izin} = 10\% D, S_g < S_{izin}$$

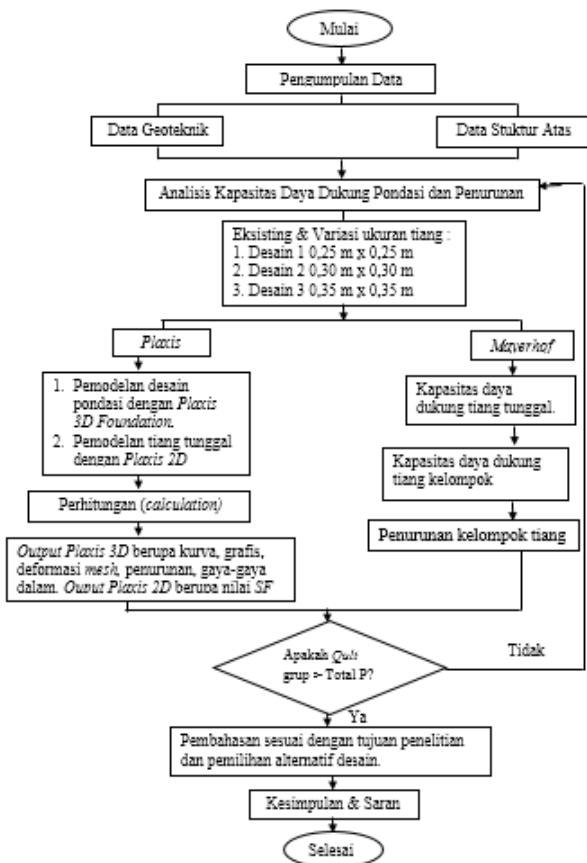
dengan : S_g : penurunan tiang kelompok, q : tekanan pada dasar tiang fondasi, B_g & L_g : lebar dan panjang kelompok tiang, q_c : nilai konus rata-rata kedalaman B_g , dan I : faktor pengaruh.

3 METODE PENELITIAN

Proyek pembangunan Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit Kabile Estate berlokasi di Kabupaten Subah,

Kecamatan Sambas, Kalimantan Barat. Bangunan yang diteliti adalah tangki timbun berdiameter 20,5 m dengan kapasitas tangki 2.500 T. Data yang digunakan untuk perencanaan fondasi berupa data tanah hasil uji sondir kapasitas 2,5 ton (PT. Mitra Abadi Sejati, 2014). Data struktur atas yang digunakan berupa beban tangki minyak kapasitas 25.000 kN, beban mekanikal sebesar 5.000 kN, dan beban pelat beton mutu K-225 sebesar 3.300 kN dengan total beban 33.300 kN (PT. Duta Marga Lestarindo, 2014).

Kajian diawali dengan melakukan analisis kapasitas dukung dan penurunan pada fondasi eksisting dengan program *Plaxis* dan metode *Meyerhof*. Tahap selanjutnya melakukan analisis kapasitas dukung dan penurunan dengan 3 alternatif desain menggunakan tiang pancang berbentuk bujur sangkar, desain satu menggunakan ukuran 0,25 m x 0,25 m sebanyak 67 tiang, desain dua menggunakan ukuran 0,30 m x 0,30 m sebanyak 47 tiang dan desain 3 menggunakan ukuran 0,35 m x 0,35 m sebanyak 41 tiang. Tahapan-tahapan penelitian ini disajikan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Tahapan Penelitian

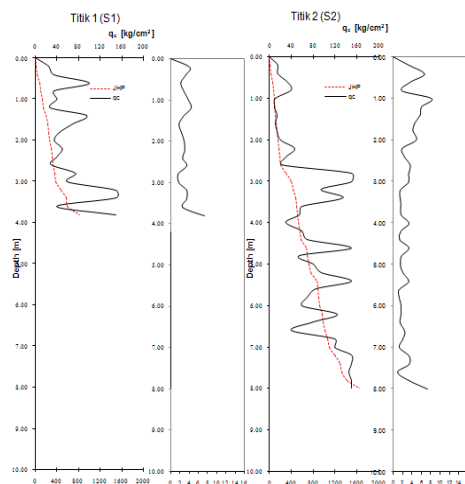
4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Konstruksi Tangki Timbun

Tangki timbun eksisting tersusun atas atap tangki, dinding tangki dan dasar tangki. Pada rencana awal untuk fondasi, tepatnya pada dasar tangki fondasi digunakan tiang pancang dengan ukuran 0,25 m x 0,25 m, tertahan pada kedalaman 5,5 m sebanyak 67 tiang dengan plat beton dengan ketebalan 0,5 m.

4.2 Kondisi Tanah

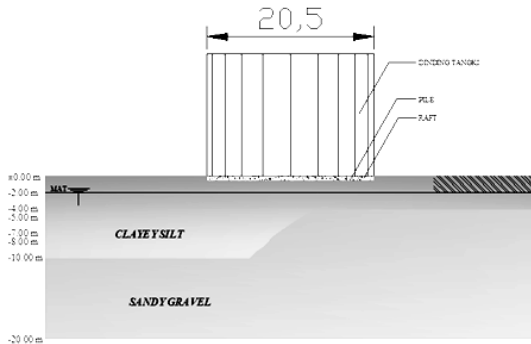
Hasil perolehan data tanah pada pabrik pengolahan kelapa sawit diperoleh dari hasil penyelidikan tanah berupa uji *CPT* sebanyak 11 titik dengan kapasitas 2,5 ton, uji *Deep Boring* dan *SPT* sebanyak 18 titik pada keseluruhan lokasi pabrik. Kondisi tanah yang ditinjau adalah kondisi sekitar tangki pada penyelidikan ini diberi nama Tangki Timbunan dengan titik uji S2, B2, B3, dan B4. Daerah tangki timbunan dari permukaan sampai kedalaman -4,0 m sampai -10,0 m terdiri dari lapisan lanau kelempungan, lempung kelanauan, dan lanau dengan konsistensi lunak sampai kaku. Lapisan selanjutnya samapi akhir kedalaman pengeboran pada -16,0 m sampai -20,0 m terdiri dari lapisan kerikil berpasir, kerikil kelempungan, kerikil, pasir kasar, dan pasir berkerikil dengan kondisi padat. Untuk muka air tanah dijumpai pada kedalaman -0,37 m sampai -10,5 m. Muka air tanah pada perhitungan diasumsikan pada kedalaman -2.0 m (PT. Mitra Abadi Sejati, 2014). Penyelidikan tanah dilakukan kembali oleh Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tanjung Pura, pengujian ini dimaksudkan sebagai *cross check* penyelidikan tanah dengan melakukan uji *CPT* pada dua titik yaitu titik satu diberi label S1 dan titik kedua diberi label S2. Perolehan hasil *CPT* ini juga digunakan peneliti sebagai acuan untuk perhitungan fondasi dengan Metode *Meyerhof*. Hasil uji *CPT* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Uji Sondir

*Laboratorium Universitas Tanjung Pura (2014)

Berdasarkan kajian sebelumnya (Komarudin, 2016) stratifikasi tanah dibuat berdasarkan pada hasil pengeboran disertai dengan pengujian *CPT*. Stratifikasi tanah dibagi menjadi dua lapisan yaitu tanah dengan jenis *clayey silt* dan *sandy gravel* yang selanjutnya digunakan untuk pemodelan tanah pada *input Plaxis*. Pemodelan stratifikasi tanah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Stratifikasi Tanah
*Komarudin (2016)

4.3 Nilai Parameter Material

Parameter untuk tanah asli terdiri dari 2 lapisan yaitu *clayey silt* dan *sandy gravel* disebut dengan lapis 1 untuk lempung dan lapis 2 untuk *gravel* pada program *Plaxis 3D Foundation* dan *Plaxis 2D*. Sesuai dengan Komarudin (2016) material tanah dimodelkan dengan menggunakan pemodelan *Mohr Couloumb*, penentuan angka poisson dari korelasi jenis tanah dan untuk parameter *Modulus Young* diperoleh dari korelasi *N-SPT*, sehingga parameter tanah diperoleh untuk *input* pada *Plaxis*. Parameter tiang fondasi yang digunakan adalah fondasi tiang pancang, dengan ukuran 0,25 m x 0,25 m, terbuat dari beton dengan mutu K-350 kg/cm². Parameter *raft* dari fondasi tangki terbuat dari beton dengan mutu beton K-225 kg/cm², dan ketebalan 0,5 m. Pada program *Plaxis 3D Foundation* dimodelkan dengan model *Cluster*. Nilai parameter dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3, sedangkan nilai parameter tiang dan *raft* pada Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 2. Parameter Tanah Asli *Clayey Silt*

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	Lempung	-
Pemodelan material	<i>Mohr Couloumb</i>	-
Tipe drainase	<i>Undrained</i>	-
Berat isi (γ_{unsat})	16,19	kN/m ³
Berat isi (γ_{sat})	19,90	kN/m ³
Modulus Elastisitas (E')	2.800	kN/m ²
Poisson rasio (ν')	0,30	-
Kohesi (C_u)	23	kN/m ²
Sudut geser (ϕ)	14,13	⁰

Tabel 3. Parameter Tanah Asli *Clayey Silt*

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	<i>Gravel</i>	-
Pemodelan material	<i>Mohr Couloumb</i>	-
Tipe drainase	<i>Drained</i>	-
Berat isi (γ_{unsat})	18,00	kN/m ³
Berat isi (γ_{sat})	22,00	kN/m ³
Modulus Elastisitas (E)	62.000	kN/m ²
Poisson rasio (ν)	0,2	-
Kohesi (c')	0,1	kN/m ²
Sudut geser (ϕ')	40,00	⁰

Tabel 4. Parameter Tiang

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	Tiang	-
Pemodelan material	Linear	-
Tipe Material	<i>Embedded piles</i>	-
Sisi (B)	0,25	m
Berat isi beton (γ)	24,00	kN/m ³
Modulus Elastisitas (E)	30000000	kN/m ²

Tabel 5. Parameter *Raft*

Parameter Material	Nilai parameter	Satuan
Jenis Material	<i>Raft</i>	-
Pemodelan material	<i>Linear Elastic</i>	-
Tipe Material	Non-Porus	-
Tebal	0,5	m
Berat isi beton (γ)	24,00	kN/m ³
Modulus Elastisitas (E)	20310000	kN/m ²
Poisson rasio (ν)	0,15	-

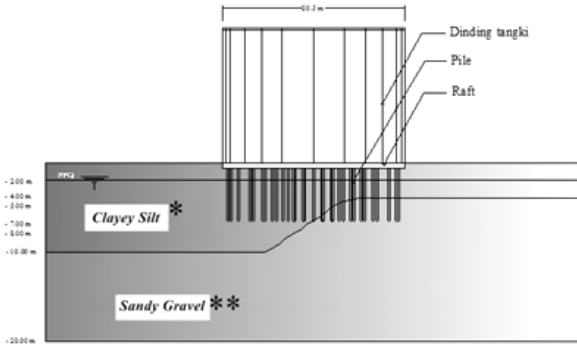
4.3.1 Penentuan Beban

Beban ditentukan oleh *owner* berupa beban statik vertikal sebesar 25.000 kN (kapasitas tangki). Pada perhitungan tangki, beban ini yang dimasukkan pada *Plaxis 3D*, sedangkan metode *Meyerhof* pembebanan diperoleh dari data berupa beban CPO (kapasitas tangki) sebesar 25.000 kN, beban mekanikal sebesar 5.000 kN, beban plat beton K-225 sebesar 3.300 kN dengan total keseluruhan 33.300 kN.

4.4 Pemodelan Desain dengan *Plaxis 3D*

4.4.1 Fondasi Eksisting

Gambaran tampak samping dan letak dan penomoran tiang pondasi eksisting disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

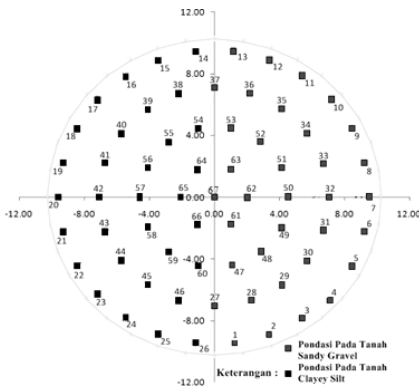


Gambar 4. Pemodelan Fondasi Eksisting Tampak Potongan
*Komarudin (2016)

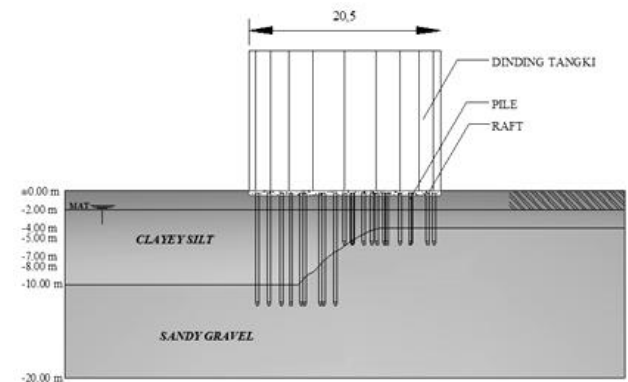
Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8, dapat dilihat bahwa respon berupa sebagian gaya menuju ke arah yang tanah kerasnya lebih dalam. Tanah juga mengalami deformasi berupa penurunan seolah-olah bangunan timpang. Gaya aksial tiang terbesar diperoleh sebesar -516,89 kN. Angka yang cukup besar untuk fondasi yang tidak duduk pada tanah keras. Hal ini disebabkan karena tiang yang duduk pada tanah keras hanya sebagian dari total tiang sehingga tanah mengalami pergeseran dan beban menjadi tertumpu pada tiang yang hanya duduk di tanah keras.

4.4.2 Usulan Alternatif Desain

Desain direncanakan menggunakan tiang pancang dari beton penuh (*massive pile*) bentuk bujur sangkar dengan ukuran 0,35 m x 0,35 m dengan penambahan panjang tiang, dimana pada fondasi eksisting sebagian tiang masih tertancap pada tanah *clayey silt* sedangkan pada desain ini tiang dipanjangkan satu segmen menjadi 12 m dengan total keseluruhan 41 tiang (Gambar 8).

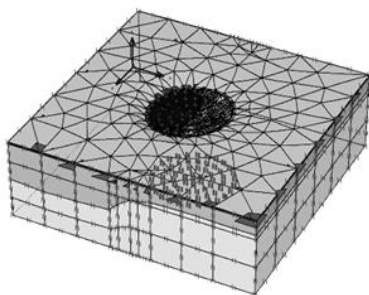


Gambar 5. Penomoran dan Letak Pile Fondasi Eksisting

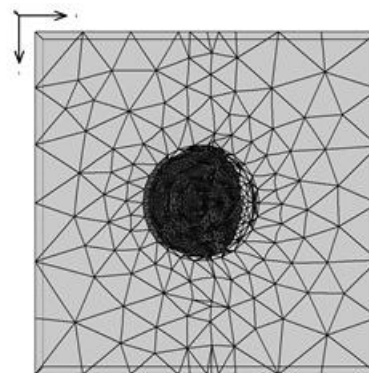


Gambar 8. Alternatif Desain Tampak Potongan

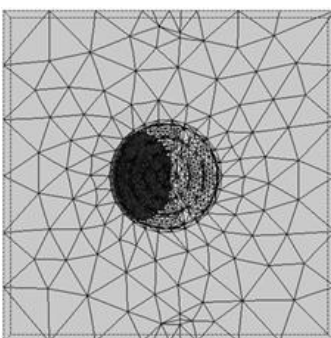
Setelah fondasi dimodelkan tahap selanjutnya berupa deformasi *mesh*, dengan hasil yang disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Output Deformasi Mesh Fondasi Eksisting



Gambar 9. Deformasi Mesh Tampak Atas Alternatif Desain



Gambar 7. Deformasi Mesh Tampak Atas Fondasi Eksisting

Dari Gambar 9 dapat terlihat respon tiang setelah mengalami pembebanan menunjukkan hasil yang signifikan, yaitu semua gaya terhadap beban aksial mampu tertumpu sehingga arah gaya tidak menuju tanah keras yang kedalamannya berbeda. Tekanan tiang terbesar akibat beban aksial sebesar -636,91 kN.

Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai *input* beban untuk pemodelan tiang tunggal pada *Plaxis 2D* untuk memperoleh nilai *SF*. Rekapitulasi perolehan *SF* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Perolehan *SF Plaxis 2D*

Eksisting 6 m		Desain 1		Desain 2		Desain 3	
<i>Sandy Gravel</i>	<i>Clayey Silt</i>	6 m	12 m	6 m	12 m	6 m	12 m
2,98	1,51	3,56	6,65	2,90	4,89	2,81	4,68

Perolehan *SF* ini diolah untuk mencari kapasitas dukung tiang tunggal dan tiang kelompok untuk fondasi eksisting dan desain-desain baru dari program *Plaxis*. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9.

Tabel 7. Rekapitulasi Fondasi Eksisting

Jenis Tanah	<i>Plaxis</i>		<i>Meyerhof</i>	
	<i>Sandy Gravel</i>	<i>Clayey Silt</i>	<i>Sandy Gravel</i>	<i>Clayey Silt</i>
n tiang	35	32	35	32
q maks <i>Plaxis</i> (kN)	516,889		-	-
<i>SF Plaxis</i>	2,98	1,51	-	-
<i>Qult1</i> (kN)	1.540,33	-	1.135,34	-
<i>Qult2</i> (kN)	-	780,50	-	743,18
<i>Qult grup</i> , (kN)	39.443,80		31.759,29	

Berdasarkan metode *Plaxis* diperoleh kapasitas dukung ultimit tiang tunggal eksisting pada tanah *sandy gravel* dan *clayey silt* sebesar *Qult1* 1.540,33 kN dan *Qult2* 780,50 kN, sedangkan dengan metode *Meyerhof* diperoleh kapasitas dukung ultimit tiang *Qult1* sebesar 1.135,34 kN dan *Qult2* sebesar 743,18 kN. Total kapasitas dukung tiang kelompok *Plaxis* dan *Meyerhof* diperoleh masing-masing *Qgroup* sebesar 39.443,80 kN dan 31.759,29 kN lebih besar dari beban total.

Tabel 8. Rekapitulasi Desain Baru dengan *Plaxis*

	<i>Output Program Plaxis</i>		
	Desain 1	Desain 2	Desain 3
Dimensi (m)	0,25	0,3	0,35
n (tiang)	67	47	41
<i>Qult1</i> (kN)	1.400,82	1.621,67	1.789,72
<i>Qult2</i> (kN)	2.616,72	2.734,46	2.980,75
<i>Qgrup</i> (kN)	66.381,59	50.349,92	48.599,57
<i>SF Manual</i>	2,66	2,01	1,94
Cek	Aman	Aman	Aman

Berdasarkan Tabel 8, kapasitas dukung tiang dengan program *Plaxis* menunjukkan bahwa semakin besar ukuran tiang, kapasitas dukung semakin besar. Dari ketiga desain yang dianalisis, desain 3 merupakan hasil desain terbaik dari keseluruhan variasi desain lainnya.

Desain 3 dengan ukuran tiang 0,35 m x 0,35 m dipilih karena dengan *SF* manual yang mendekati sama dengan alternatif desain lain, tetapi pada desain 3 hanya membutuhkan jumlah tiang sebanyak 41 (lebih ekonomis dibandingkan dengan desain 1 dan 2.

Tabel 9. Rekapitulasi Desain Baru dengan *Meyerhof*

	<i>Metode Meyerhof</i>		
	Desain 1	Desain 2	Desain 3
Dimensi (m)	0,25 x 0,25	0,3 x 0,3	0,35 x 0,35
n tiang (6 m)	35	25	21
n tiang (12 m)	32	22	20
n total (tiang)	67	47	41
<i>Qult</i> 6 m (kN)	1.135,34	1.587,41	2.114,48
<i>Qult</i> 12 m(kN)	1.396,95	1.901,34	2.480,73
<i>Qgrup</i> (kN)	42.219,69	40.757,37	47.009,33
<i>SF Manual</i>	1,27	1,22	1,41
Cek	Aman	Aman	Aman

Hasil analisis kapasitas dukung dengan metode *Meyerhof* dilakukan sebagai *cross check* apakah terdapat perbedaan hasil atau tidak. Sejalan dengan perolehan *Plaxis*, dimana dengan nilai *SF* manual yang mendekati sama dengan jumlah tiang paling dari desain lainnya, desain tiga memiliki hasil kapasitas dukung paling besar.

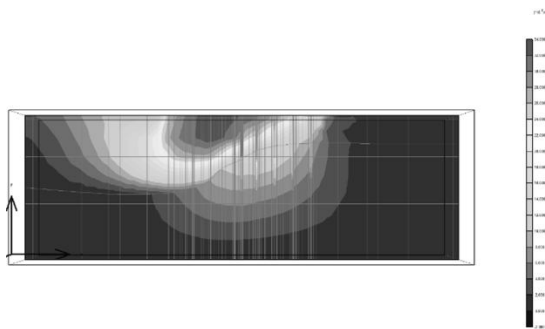
Dari keseluruhan hasil analisis fondasi dengan program *Plaxis* dan *Meyerhof* untuk kapasitas dukung menunjukan hasil yang berbeda dimana dengan metode *Meyerhof* kapasitas dukung yang dihasilkan lebih kecil dikarenakan tinjauan pada metode *Meyerhof* hanya terhadap tahanan gesek pada tiang dan tahanan ujung saja sedangkan dengan *Plaxis* parameter yang ditinjau lebih banyak sehingga tingkat akurasi dan ketelitiannya sangat tinggi dan menghasilkan nilai kapasitas dukung yang lebih besar.

Dilihat dari variasi ukuran tiang, semakin besar dimensi tiang jumlah tiang yang dibutuhkan semakin sedikit. Apabila tiang tertumpu pada tanah keras maka daya dukung yang dihasilkan juga semakin besar, disebabkan oleh kapasitas dukung ujung dan kapasitas gesek tiang. Hariska (2011) meneliti kapasitas dukung dengan dua variasi dimensi ukuran tiang bor 800 dan 900 mm juga menyimpulkan hal yang sama, yaitu semakin besar dimensi tiang maka kapasitas dukung yang diperoleh juga semakin tinggi, dan yang terakhir beradasakan hasil desain fondasi dengan program *Plaxis* disarankan agar desain fondasi pada tanah berlapis yang tingkat kedalamannya berbeda

hendaknya memperhatikan juga pergeseran dan penjembutan yang diakibatkan tanah pasif. Kasus terjadinya penjembutan sebaiknya harus diimbangi dengan beban penyeimbang yang dapat diperhitungkan terhadap tekanan angkat dari tanah itu sendiri.

4.5 Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan tiang kelompok berdasarkan *Plaxis* ditampilkan dalam bentuk penurunan kelompok tiang ditampilkan pada Gambar 10 dan Tabel 10, sedangkan penurunan dengan metode *Meyerhof* dapat dilihat pada Tabel 11.



Gambar 10. Penurunan Kelompok Tiang

Tabel 10. Rekapitulasi Penurunan Tiang Kelompok pada *Plaxis*

Desain	Penurunan (mm)	Keterangan
Desain 1	32,75	Memenuhi
Desain 2	35,38	Memenuhi
Desain 3	35,57	Memenuhi

Tabel 11. Rekapitulasi Penurunan dengan *Meyerhof*

Desain	Penurunan (mm)	S izin (mm) 10% D	Keterangan
Desain 1	32,4	25	Tidak Memenuhi
Desain 2	32	30	Tidak Memenuhi
Desain 3	27	35	Memenuhi

5 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perolehan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Hasil perolehan kapasitas dukung pada fondasi tiang pancang dengan *Plaxis* menunjukkan respon sebagian besar gaya menuju ke arah tanah kerasnya lebih dalam. Tanah juga mengalami deformasi berupa penurunan seolah-olah bangunan timpang.
- 2) Kapasitas dukung fondasi berdasarkan metode *Meyerhof* selalu lebih besar dari *Plaxis*.
- 3) Alternatif desain yang direkomendasikan adalah desain 3 dengan ukuran tiang 0,35 m x 0,35 m dengan jumlah 41 tiang. Hal ini dikarenakan berdasarkan *Plaxis* maupun *Meyerhof* kapasitas

dukungnya paling besar ditambah dengan *SF* manual yang mendekati sama dengan desain-desain lainnya didapat jumlah tiang paling sedikit sehingga kerja tiang lebih efektif dan ekonomis.

REFERENSI

- Hardiyatmo. (2010). "Analisis & Perancangan Fondasi Bagian II." Gajahmada University Press. Yogyakarta.
- Hariska. (2011). "Perbandingan Kapasitas Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Balai Pelatihan Kesehatan Batam." *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Komarudin. (2016). "Studi Distribusi Beban Pada Kelompok Tiang Di Bawah Fondasi Tangki Dengan Sistem *Pile-Raft*". *Tesis*. Universitas Katolik Parahyangan. Bandung.
- Prakash, Shamsheer, Hari D. Sharma. (1990). "*Pile Foundation In Engineering Practice*". John Wiley and Sons Inc. Canada
- PT. Duta Marga Lestarindo. (2014). *Pile Driving Analyzer Test*. Universitas Tanjung Pura dan Universitas Taruma Negara. Pontianak Dan Jakarta.
- PT. Mitra Abadi Sejati. (2014). *Penyelidikan Tanah*. Universitas Tanjung Pura. Pontianak.