

Analisis Deformasi Rencana Fondasi Tangki BBM

Ekasisca Contesa¹⁾, Agus Darmawan Adi²⁾, Hary Christady Hardiyatmo³⁾

¹⁾²⁾³⁾Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia Kode Pos 55281

Email : ekasiscacontesa@gmail.com¹⁾, adadhi2@yahoo.com²⁾, hary.christady@mail.ugm.ac.id³⁾

ABSTRACT

Determining the type of foundation that will be used in a building must be adjusted to the amount of load, environmental conditions and subsoil. Construction of a fuel oil tank (TBBM) which will be build is a tank with 40.000 kL capacity and 50 m diameter. Deformation analysis of soil structure can be manually calculate and numerical calculations are performed using GEO5 Pile Group software. Analysis of the Pile Group program consists of two parts, namely Spring Method which makes the calculation of the entire pile foundation and determination of internal forces along the length of individual pile possible. The important result is rotation, settlement value, and further the dimensioning of the reinforcement cage for individual piles. For Analytical Solution analysis is intended for analysing vertical bearing capacity of a pile group loaded solely by a vertical normal force. The analysis result compares the vertical bearing capacity of the pile foundation and the average settlement of the pile. The results of the consolidation reduction analysis resulted in a value of 58.7 mm. For the results of numerical analysis with Geo5, the settlement in analytical solution is 23.4 mm and for a spring method analysis is 18.0 mm. The difference between the result of manually calculation and Geo5 can occur due to possible differences by the formulation. However, the value is satisfied to the allowable settlement criteria so that it can be concluded that the soil can support the foundation of the tank quite stable.

Keywords : tank foundation, settlement, numerical analysis, consolidation, Geo5

ABSTRAK

Menentukan tipe fondasi yang akan dipakai pada bangunan harus disesuaikan dengan besar beban yang akan diterima bangunan, kondisi lingkungan dan lapisan tanah. Pembangunan tangki bahan bakar minyak (TBBM) yang akan dibangun merupakan tangki dengan kapasitas 40.000 kL dan diameter 50 m, dengan kondisi tanah di lapangan berupa tanah berlapis yang terdiri dari pasir halus sampai lempung. Analisis mengenai perubahan struktur tanah dapat dilakukan secara manual dan perhitungan numeris dilakukan dengan menggunakan software GEO5 Pile Group. Analisis pada program Pile Group terdiri dari dua bagian, yaitu Spring Method yang memperhitungkan deformasi yang terjadi pada seluruh fondasi tiang dan menentukan internal forces di sepanjang tubuh tiang. Hasil analisis terdiri dari rotasi pile cap serta penurunan yang terjadi. Serta analisis Analytical Solution yang dapat digunakan untuk menganalisis daya dukung vertikal tiang akibat beban normal vertikal yang diaplikasikan pada fondasi. Hasil analisis berupa daya dukung vertikal pada fondasi tiang dan penurunan rata-rata yang terjadi. Hasil analisis penurunan konsolidasi menghasilkan nilai sebesar 58,7 mm. Sedangkan untuk hasil analisis numeris dengan Geo5, penurunan pada analisis analytical solution menghasilkan penurunan sebesar 23,4 mm dan analisis dengan spring method menghasilkan penurunan sebesar 18,0 mm. Perbedaan hasil perhitungan antara hasil hitung secara manual dan Geo5 dapat terjadi akibat adanya kemungkinan perbedaan formulasi dari kedua cara perhitungan penurunan tersebut. Meskipun begitu, nilai tersebut masih memenuhi kriteria penurunan yang diijinkan sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah dapat menopang fondasi tangki dengan cukup stabil.

Kata kunci : fondasi tangki, penurunan, analisis numeris, konsolidasi, Geo5

1. Pendahuluan

Tangki BBM merupakan bangunan vital yang sangat perlu memperhatikan kekokohan fondasi penopangnya agar dapat berfungsi dengan baik sehingga usia produksinya panjang. Fondasi yang dibebani dengan beban yang besar, dapat menyebabkan perubahan struktur tanah (deformasi) yang menimbulkan terjadinya penurunan yang dapat menyebabkan posisi tangki menjadi tidak stabil sehingga tidak mampu menampung volume minyak seperti yang direncanakan.

Menentukan tipe fondasi yang akan dipakai harus disesuaikan dengan besar beban yang akan diterima bangunan, kondisi lingkungan dan lapisan tanah. Pembangunan tangki bahan bakar minyak (TBBM) yang akan dibangun merupakan tangki dengan kapasitas 40.000 kL, dengan kondisi tanah di lapangan yang berdasarkan hasil uji bor log berupa tanah berlapis yang secara umum berupa pasir halus sampai lempung. Pada lokasi tersebut akan dibangun tangki BBM dengan diameter 50 m.

Untuk kondisi tanah di lapangan yang berupa pasir halus dan lempung serta mempertimbangkan kapasitas tangki yang besar, maka perhitungan deformasi yang terjadi di bawah tiang perlu dianalisis. Deformasi tanah di bawah fondasi dapat mempengaruhi keamanan struktur fondasi yang dapat menyebabkan tangki tidak dapat berfungsi maksimal dalam menampung minyak dan bahkan tangki dapat mengalami kebocoran. Untuk itu perlu dibuat perancangan fondasi yang mampu menahan kapasitas tangki di atasnya dengan memperhitungkan daya dukung fondasi, mengetahui besarnya penurunan yang terjadi melalui perhitungan manual maupun analisis melalui *software* GEO5 *Pile Group*.

A. Sistem Fondasi

Menurut Hardiyatmo (2014a), pemilihan jenis fondasi tergantung dari beban yang harus didukung, kondisi tanah fondasi, dan biaya pembuatan fondasi yang dibandingkan terhadap biaya struktur atasnya.

Penggunaan fondasi dalam terdiri dari berbagai tipe yang dapat disesuaikan dengan besarnya beban, kondisi lokasi/lingkungan, dan lapisan tanah. Klasifikasi tiang yang didasarkan pada metode pelaksanaannya adalah tiang pancang (*driven pile*), yaitu tiang yang dipasang dengan cara membuat bahan berbentuk bujur sangkar memanjang yang dicetak lebih dahulu dan kemudian dipancang atau ditekan ke dalam tanah. Tiang bor (*drilled shaft*), yaitu tiang yang dipasang dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu sapaai kedalaman tertentu, kemudian tulangan baja dimasukkan dalam lubang bor dan kemudian diisi/dicor dengan beton. Kaison (*caisson*), yaitu suatu bentuk kotak atau silinder yang telah dicetak terlebih dahulu, dimasukkan ke dalam tanah, pada kedalaman tertentu, dan kemudian diisi beton.

B. Likuifaksi

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Lapisan pasir berubah menjadi cairan sehingga tidak mampu lagi menopang bangunan di atasnya (Tohari, dalam Ali, 2017). Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah yang terdapat lapisan berupa pasir atau lanau yang bersifat lepas (tidak padat), jenuh air, dan terkena beban dinamik berupa gempa dengan magnitude (M) ≥ 5 SR dengan percepatan (a) $> 0,1$ g.

Evaluasi potensi likuifaksi pada penelitian ini menggunakan metode *National Center for Earthquake Engineering Reasearch* (NCEER) untuk uji SPT dan uji sondir yang didasarkan pada konsensus tahun 2001 oleh Youd dan Idris. Metode tersebut dititik beratkan pada nilai *Safety Factor* (SF) yang diperoleh dari perbandingan antara *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan *Cyclic Stress Ratio* (CSR).

$$CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \tag{1.1}$$

dengan,

CSR = tegangan geser siklik (tanpa dimensi)

σ_v = tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

σ'_v = tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)

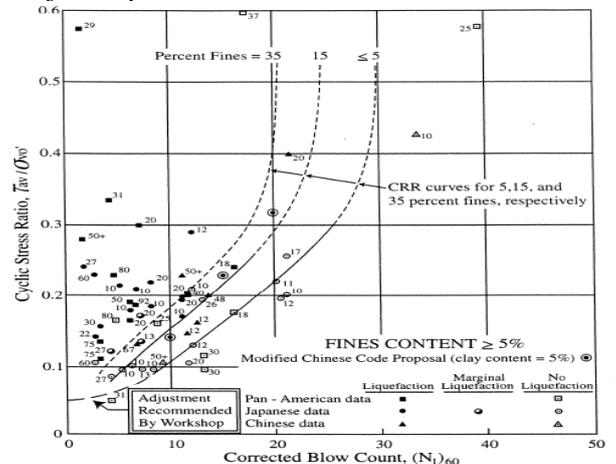
a_{max} = percepatan muka tanah maksimum saat gempa (m/s²)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

r_d = faktor reduksi kedalaman (tanpa dimensi)

Cyclic resistance ratio (CRR) menggunakan uji *Standar Penetration Test* (SPT), merupakan nilai rasio tahanan siklik tanah, sebagai parameter untuk menahan atau melawan tegangan geser siklis saat gempa.

Berdasarkan konsensus *National Center for Earthquake Engineering Reasearch* (NCEER) yang membahas ketahanan tanah terhadap likuifaksi pada tahun 1998 didapatkan metode evaluasi CRR dengan kriteria untuk evaluasi tahanan likuifaksi berdasarkan nilai SPT. Kriteria tersebut diplotkan dalam kurva antara nilai SPT terkoreksi ($(N_1)_{60}$) dan nilai CSR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva SPT pasir bersih pada gempa 7,5 SR (modifikasi oleh Seed dkk, 1985 dalam Youd-Idriss, 1997)

Kurva CRR yang diplotkan dalam grafik tersebut diposisikan untuk memisahkan daerah yang terindikasi terjadinya likuifaksi dengan menunjukkan non likuifaksi. Kurva dikembangkan untuk tanah butiran *finer content* (FC) sebesar 5% atau kurang, 15%, dan 35% seperti yang ditunjukkan pada plot kurva. Kurva CRR untuk FC < 5% adalah kriteria penetrasi dasar untuk penyederhanaan prosedur dan disebut kurva dasar SPT untuk pasir murni. Raunch (1998) mengestimasi nilai CRR pada tanah seperti persamaan :

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (1.2)$$

dengan,

$(N_1)_{60}$ = nilai N-SPT terkoreksi

N_m = nilai pembacaan SPT

$(N_1)_{60cs}$ = nilai $(N_1)_{60}$ yang dikoreksi terhadap nilai ekivalen pasir bersih

Nilai CRR dan CSR pada tanah digunakan untuk menentukan faktor keamanan (*safety factor*) dari likuifaksi pada tanah, yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$SF = \frac{CRR}{CSR} \quad (1.3)$$

Apabila $SF < 1$ maka dapat dikatakan bahwa lapisan tanah tersebut berpotensi mengalami likuifaksi, sedangkan untuk $SF = 1$ menunjukkan tanah dalam kondisi kritis menuju likuifaksi, dan jika $SF > 1$, maka lapisan tanah tersebut tidak berpotensi mengalami likuifaksi.

C. Kapasitas Dukung Tiang

Meyerhof (1956) memberikan hitungan kapasitas ultimit tiang secara empiris berdasarkan nilai hasil uji SPT. Untuk tanah pasir, analisis kapasitas dukung tiang sebagai berikut.

Dukungan ujung :

$$Q_b = A_b \cdot 0,4 \cdot N_{60} \cdot \left(\frac{L_b}{d}\right) \quad (1.4)$$

Dukungan gesek :

$$Q_s = A_s \cdot \left(\frac{1}{50} \cdot \sigma_r \cdot N_{60}\right) \quad (1.5)$$

Untuk tiang beton tanah lempung, perhitungan didasarkan pada parameter tanah berupa faktor adhesi (α) dan kohesi c_u .

Dukungan ujung :

$$Q_b = A_b \cdot N_c \cdot c_u \quad (1.6)$$

Dukungan gesek :

$$Q_s = A_s \cdot \alpha \cdot c_u \quad (1.7)$$

dengan,

Q_b = kapasitas dukung ujung

Q_s = kapasitas dukung gesek

A_b = luas ujung bawah tiang

A_s = luas selimut tiang

N_{60}' = nilai N-SPT yang dikoreksi terhadap tekanan *overburden*

σ_r = tegangan referensi = 100 kN/m²

N_c = faktor kapasitas dukung

α = faktor adhesi

c_u = kohesi

D. Penurunan

D'orazio and Dunchan (1987) mengatakan bahwa secara umum penurunan fondasi tangki dianggap terdiri dari dua komponen penurunan terpisah, yaitu penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Dimana ketika tanah dibebani oleh struktur, maka deformasi akan terjadi. Deformasi vertikal pada permukaan tanah eksisting yang dihasilkan dari berat bangunan disebut sebagai penurunan.

Perhitungan penurunan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode baik itu untuk penurunan tiang tunggal maupun kelompok tiang. Fondasi yang terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh penurunan yang terjadi dapat dibagi menjadi 3 komponen, yaitu penurunan segera, penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder. Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut (Hardiyatmo, 2014a) dinyatakan pada Persamaan 3.15 di bawah ini.

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (1.8)$$

Untuk lempung tertentu, penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan-persamaan berikut ini.

Bila didefinisikan:

$$p_1' = p_0' + \Delta p \quad (1.9)$$

maka penurunan untuk lempung *normally consolidated* ($p_c' = p_0'$) dengan tegangan efektif sebesar p_1'

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'} \quad (1.10)$$

dengan,

S = penurunan total (m),

S_i = penurunan segera (m),

S_c = penurunan primer (m),

S_s = penurunan sekunder (m),

H = tebal lapisan tanah lunak (m),

C_c = indeks pemampatan,

Δp = tambahan tegangan akibat beban fondasi (kN/m²)

p_0' = tegangan efektif pada dasar fondasi (kN/m²),

p_c' = tekanan prakonsolidasi (kN/m²),

e_0 = angka pori awal sebelum terjadi konsolidasi

E. Program GEO5

GEO5 merupakan suatu *software* yang menggunakan metode elemen hingga dalam proses analisis. Program ini mampu memecahkan berbagai persoalan dalam bidang geoteknik, disamping digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng, fondasi, dinding penahan tanah, juga dapat digunakan untuk menganalisis terowongan, mengetahui kerusakan bangunan akibat pembangunan terowongan atau stabilitas lereng. Pada penelitian ini, analisis desain fondasi dalam dilakukan dengan menggunakan program *Pile Group* untuk dapat mengetahui penurunan yang terjadi pada struktur fondasi yang dirancang.

Analisis pada program *Pile Group* terdiri dari dua bagian, yaitu *Spring Method* dan *Analytical Solution*. Dimana metode *spring* memperhitungkan deformasi

yang terjadi pada seluruh fondasi tiang dan menentukan *internal forces* di sepanjang tubuh tiang. Hasil analisis terdiri dari rotasi *pile cap* serta penurunan yang terjadi. Selain itu, pada bagian *Analytical Solution* dapat digunakan untuk menganalisis daya dukung vertikal tiang akibat beban normal vertikal yang diaplikasikan pada fondasi. Hasil analisis berupa daya dukung vertikal pada fondasi tiang dan penurunan rata-rata yang terjadi. Solusi analitik dibagi lebih lanjut ke dalam beberapa tipe tanah, yaitu untuk tanah kohesif (*cohesive soil*) dan tanah non kohesif (*cohesionless soil*).

2. Pembahasan

A. Lokasi Penelitian dan Data

Lokasi rencana pembangunan TBBM dengan kapasitas 40.000 kL yaitu pada sebuah kompleks kilang minyak di Provinsi Jawa Tengah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT-UGM. Data hasil penelitian yang diperoleh berupa data bor log, uji sondir, dan pengambilan sampel tanah.

B. Tahapan Penelitian

1. Identifikasi masalah

Kondisi tanah di lokasi rencana pembangunan Tangki BBM ini secara umum berupa pasir halus sampai lempung. Lapisan atas berupa lempung pasir dengan kedalaman 1.50 m, selanjutnya berupa lapisan pasir di kedalaman 1.50 – 16.00 m, dan disusul lapisan lempung yang cukup tebal, yaitu pada kedalaman 16 – 50 m. Dengan kondisi tanah tersebut, bangunan tangki yang akan dibangun di atas tanah akan menyebabkan kompresi tanah dan deformasi di bawah fondasi. Untuk itu perlu diperkirakan besarnya penurunan konsolidasi yang akan terjadi pada tanah lempung di bawah fondasi.

2. Evaluasi potensi likuifaksi

Dengan mempertimbangkan kondisi lapisan tanah yang berada pada lokasi penelitian yang berupa tanah pasir dan termasuk dalam wilayah kegempaan cukup tinggi, maka perlu dilakukan analisis mengenai potensi

likuifaksi untuk dapat meminimalisir terjadinya kerusakan pada bangunan ketika terjadi gempa di masa yang akan datang.

3. Perhitungan kapasitas dukung tiang

Analisis kapasitas dukung (*bearing capacity*) mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban fondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya.

4. Input program GEO5

Analisis penurunan fondasi tangki bbm dilakukan dengan menggunakan *software Pile Group* pada GEO5. Tipe analisis yang digunakan yaitu, *analytical solution* untuk memperoleh nilai daya dukung dan penurunan rata-rata yang terjadi pada fondasi dan analisis *spring method* untuk mengetahui deformasi yang terjadi, dengan hasil analisis berupa nilai rotasi *pile cap* dan penurunan pada fondasi.

C. Hasil Perhitungan

1. Evaluasi Potensi Likuifaksi

Analisis likuifaksi dilakukan dengan menggunakan metode NCEER (National center for Earthquake Engineering Research) berdasarkan hasil uji lapangan yaitu N-SPT. Dalam analisis ini digunakan Magnitude gempa sebesar 6 Skala Richter dengan nilai percepatan puncak (PGA) sebesar 0,35 g. Data yang digunakan dalam analisis berupa data bor dan SPT pada lapisan pasir yang berada pada kedalaman 2 m hingga 18 m yang memiliki kemungkinan terpengaruh oleh gempa.

Berikut adalah perhitungan analisis potensi likuifaksi pada lapisan tanah di BH-1 dan BH-2.

Tabel 1. Hasil analisis likuifaksi uji N-SPT BH-1

Ked (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Y _{sat}	CSR	CRR	SF
			(kN/m ³)			
2	Pasir Lempungan	8	18,90	0,223	0,081	0,36
4	Lempung	10	20,50	Tidak Likuifaksi		
6	Pasir Halus	15	21,26	0,316	0,344	1,09
8		16	21,26	0,330	0,402	1,22
10		18	21,26	0,337	0,504	1,50
12		20	21,26	0,340	0,623	1,83
14		23	20,03	0,355	0,735	2,07

Tabel 2. Hasil analisis likuifaksi uji N-SPT BH-2

Ked (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Y _{sat}	CSR	CRR	SF
			(kN/m ³)			
2	Pasir Halus	12	19,25	0,223	0,11	0,49
4		19	19,25	0,297	0,25	0,83
6		22	19,15	0,332	0,34	1,03
8		23	19,15	0,350	0,40	1,15
10		24	19,15	0,360	0,47	1,30
12		26	19,15	0,365	0,54	1,49
14		27	19,15	0,367	0,60	1,64
16		27	19,59	0,360	0,60	1,68

18		16	19,59	0,359	0,34	0,96
----	--	----	-------	-------	------	------

Berdasarkan hasil perhitungan analisis likuifaksi yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 tersebut, terdapat lapisan yang mengalami likuifaksi dengan SF <1, yaitu pada BH-1 di kedalaman 2 m dan pada BH-2 terdapat di kedalaman 2 m hingga 4 m. Untuk lapisan berikutnya diperoleh nilai SF ≥ 1, yang berarti bahwa lapisan tanah mempunyai potensi likuifaksi yang rendah dan bahkan tidak mengalami likuifaksi sama sekali apabila terjadi gempa dengan magnitude sebesar 6 skala Richter.

2. Analisis Kapasitas Dukung Tiang

Kapasitas dukung tiang dihitung dengan menggunakan persamaan dari Mayerhof (1976), dengan menginjau jenis tiang pancang spun pile dengan diameter 0,6 m dan kedalaman pancang tiang sebesar 24 m. Perhitungan daya dukung dilakukan menggunakan nilai N-SPT dengan SF = 2,5.

Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung tiang dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 3. Perhitungan kapasitas dukung tiang

Data tanah	Tahanan Ujung Ultimit (Qb)	Tahanan Gesek Ultimit (Qs)	Kapasitas Dukung Ultimit (Qu)	Kapasitas Dukung Ijin (Qa)
	kN	kN	kN	kN
BH-1	5730,27	572,21	6302,47	2520,99
BH-2	4523,89	479,89	5003,78	2001,51

Untuk keperluan perancangan pada tangki yang berdiri dibawah tanah berdasarkan data tanah dari hasil bor BH-1 dan BH-2 dipakai nilai kapasitas dukung ijin terkecil yang dihasilkan dari data tanah BH-2, yaitu 2001,51.

3. Perancangan Fondasi Tangki Bahan Bakar Minyak

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap salah satu rencana fondasi yang terletak pada lapisan tanah dari hasil uji bor BH-1 dan BH-2 dengan lapisan berupa pasir dan lempung. Pemodelan tangki bahan bakar minyak akan menampung bahan bakar dengan kapasitas 40000 kL. Struktur pelat lantai berbentuk lingkaran dengan diameter 50 m dan tinggi tangki 22,2 m. Jenis fondasi yang akan digunakan adalah fondasi tiang pancang, dengan diameter 0,6 m dan kedalaman 24 m dari muka tanah asli.

Perancangan tangki penyimpanan bahan bakar minyak untuk kapasitas 40000 kL, adalah sebagai berikut :

Tipe tangki : silinder

Estimasi berat dan kapasitas tangki:

Berat kosong = 1006,51 ton

Berat saat beroperasi = 41006,51 ton

Berat yang dipakai dalam perhitungan = 42000 ton

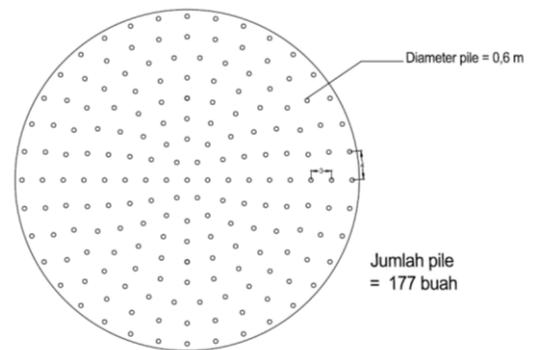
Gaya total yang bekerja (Ptotal) = 42000 x 0,82 x 9,81 = 337856,4 kN

Tekanan (q) = $\frac{337856,4}{1963,5} = 172,07 \text{ kN/m}^2$

Jumlah tiang (n) = $\frac{337856,4}{2001,51} = 169$ buah

Gaya yang diterima per tiang (P) = $\frac{P_{total}}{n} = \frac{337856,4}{169} = 2001,51 \text{ kN}$

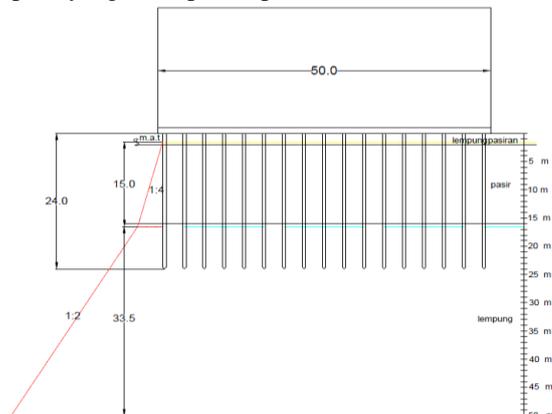
Melalui hasil perhitungan tersebut di atas, diperoleh jumlah tiang minimum yang digunakan untuk mendukung tangki yaitu n = 169 buah tiang. Di bawah ini, ditampilkan pada Gambar 2.1 rencana konfigurasi tiang yang dilakukan dengan metode trial and error dan penentuan jarak minimum antar tiang menggunakan persamaan yang disarankan oleh Fellenius, 2006 (dalam Hardiyatmo, 2015) yaitu s = 2,5d + 0,02L yang merupakan fungsi dari panjang tiang. Dengan didasarkan pada persamaan tersebut, dicoba bentuk konfigurasi tiang dengan koordinat membentuk lingkaran yang mana jumlah tiang total yang akan digunakan adalah 177 buah tiang.



Gambar 3. Konfigurasi tiang pancang

4. Perhitungan Penurunan Fondasi secara Manual

Perhitungan penurunan konsolidasi kelompok tiang dianalisis dengan menggunakan nilai Cc yang diperoleh dari hasil uji konsolidasi di laboratorium. Penyebaran pembebanan kelompok tiang dihitung dengan metode penyebaran 2V:1H. Beban akan disalurkan ke tanah mulai dari permukaan tanah sampai pada 2/3L dari puncak tiang dengan penyebaran beban sepanjang garis 4V:1H. kemudian mulai dari garis di bawah 2/3L dilanjutkan penyebaran beban sepanjang garis 2V:1H seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 4. Lapisan tanah untuk bangunan tangki kapasitas 40000 kL

Area pembebanan kelompok tiang:

$$P = L = 48 + (3,75 \times 15 \times \frac{1}{4}) = 62,06 \text{ m}$$

Tekanan netto pada dasar fondasi rakit:

$$q_n = \frac{177 \times 172,07}{62,06} = 7,91 \text{ kN/m}^2$$

Tambahan tekanan akibat beban fondasi di pusat lempung:

$$\Delta p = \frac{7,91(\frac{\pi \times 50^2}{4})}{\pi/4(50+16,25)^2} = 4,44 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga penurunan konsolidasi adalah,

$$S_c = 1,05 \frac{33,5}{1+1,894} \log \frac{401,145}{396,71} = 0,0587 \text{ m} = 58,7 \text{ mm}$$

Berdasarkan nilai penurunan yang diijinkan untuk tangki berukuran besar seperti yang disyaratkan Chen (1987) yaitu maksimum sebesar 100 mm, maka penurunan konsolidasi sebesar 58,7 mm masih dalam batas aman.

5. Analisis Numeris Struktur Fondasi Tangki

Pada analisis yang dilakukan dengan menggunakan program Geo5 *Pile Group*, pemodelan struktur fondasi tangki dilakukan dengan dua cara yaitu, *analytical solution* dengan jenis tanah *cohesive soil* dan *spring method* dengan menggunakan nilai soil spring arah vertikal dan horizontal. Beban yang bekerja diasumsikan dari berat tangki ditambah dengan berat pelat beton. Parameter tanah yang digunakan dalam analisis Geo5 *Pile Group* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter input data tanah pada Geo5 *PileGroup*

Depth	Soil type	γ	γ _{sat}	C _u (kPa)	α	φ ^o	v
0,00–2,00	Pasir lempungan	17	20	54	0,77		0,30
02,00 – 16,00	Pasir halus	20	21			37	0,35
16,00 – 50,00	lempung	21	21	100	0,49	8,91	0,50

Pada penelitian ini, jenis tanah yang ditinjau adalah tanah lempung yang berada di bawah fondasi, sehingga pada analisis dengan *analytical solution* digunakan jenis tanah *cohesive soil*. Hasil analisis pemodelan struktur fondasi diperoleh nilai seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis kapasitas dukung kelompok tiang pada tanah kohesif

Kuat geser rata-rata undrained sepanjang tiang	c _{us}	39,60	kPa
Kuat geser rata-rata undrained di dasar kelompok tiang	c _{ub}	100	kPa
Cohesion group bearing capacity factor	N _{cg}	6,59	
Kapasitas dukung kelompok tiang	R _g	1387543,31	kN
Gaya vertikal maksimum	V _d	76051,77	kN

Tabel 6. Analisis penurunan kelompok tiang pada tanah kohesif

The depth of substitute found	d	16	m
Beban layan maksimum	N	76051,77	kN
Kedalaman zona pengaruh	h	12,47	m
Penurunan kelompok tiang	s	23,4	m

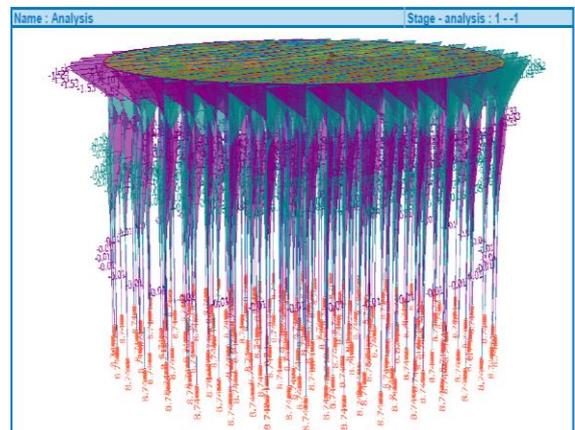
Untuk analisis struktur fondasi dengan *spring method* dilakukan dengan mengasumsikan tipe tiang adalah *floating pile* dengan kekakuan spring dihitung berdasarkan parameter tanah, hubungan antara tiang dan *pile cap* adalah *fixed* (kaku) dan nilai modulus reaksinya konstan. Hasil analisis struktur fondasi menunjukkan nilai-nilai seperti yang ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Gaya internal maksimum

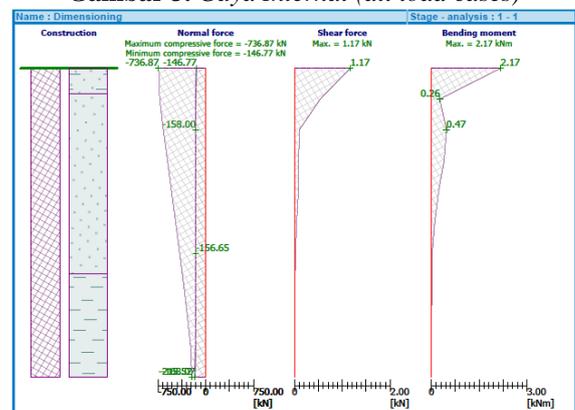
Gaya tekan maksimum	-736,87	kN
Gaya tekan minimum	-146,77	kN
Bending moment maksimum	2,17	kNm
Gaya geser maksimum	1,17	kN

Tabel 8. Displacement maksimum

Penurunan maksimum	18	mm
Displacement maksimum arah horizontal pada pile cap	0,1	mm
Rotasi maksimum pada pile cap	2,9E ⁻⁰⁵	0



Gambar 3. Gaya Internal (all load cases)



Gambar 4. Distribusi gaya pada konstruksi tiang

3. Kesimpulan

Struktur fondasi tangki dirancang menggunakan fondasi tiang pancang jenis spun pile dengan diameter 0,6 m dan kedalaman pancang 24 m dari muka tanah. Susunan fondasi tiang yang direncanakan untuk menopang struktur tangki berjumlah 177 buah tiang.

Hasil analisis penurunan yang dilakukan dengan perhitungan penurunan secara manual menghasilkan nilai sebesar 58,7 mm yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang diperoleh melalui analisis numeris dengan Geo5. Perbedaan hasil perhitungan antara hasil hitung secara manual dan Geo5 dapat terjadi akibat adanya kemungkinan perbedaan formulasi dari kedua cara perhitungan penurunan tersebut. Selain itu, hasil perhitungan tersebut masih memenuhi kriteria penurunan yang diijinkan sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah dapat menopang fondasi tangki dengan cukup stabil. Keseluruhan hasil perhitungan tersebut di atas, hanya sebagai perhitungan pembanding yang bukan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan sesungguhnya di lapangan.

Daftar Pustaka

- Ali, I.H. 2017. *Analisis Pengaruh Peak Ground Acceleration (PGA) Terhadap Potensi Likuifaksi Komplek Candi Prambanan Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis. Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Bowles, J.E. 1988. *Analisis dan Desain Fondasi*. Edisi Keempat. Jilid 2. Penerbit Erlangga. Jakarta
- D’Orazio, T.B., Ochoa, M. 1987. *Differential Settlement in Steel Tanks*. Journal of Geotechnical Engineering. Vol.13, No.9.
- Fellenius, B.H., Ochoa, M., 2013. *Large Liquid Storage Tanks on Piled Foundations*. Proceedings of the International Conference on Foundation and Soft Ground Engineering. June 2013. pp.3-17
- Geoengineer. 2013. “GEO5 Software For Geotechnical Design and Analysis” <(www.geoengineer.org)> (diakses 6 Oktober 2017)
- Hardiyatmo, H.C. 2014(a). *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2014(b). *Mekanika Tanah 2*. Edisi Kelima. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi 2*. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Ramasamy, G., Kalaiselvan, G. 1998. *A Case Study on Settlement of Oil Storage Tank Foundations*, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. 41.
- Youd, T.L., Idriss, I.M. 1997. *Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. Technical Report NEER-97-0022. Desember 31.