

## Daya Dukung Fondasi Tangki 5000 KL Pertamina Region VII Sulawesi, Kota Kendari, Kecamatan Kendari Barat

Muh. Handy Dwi Adityawan<sup>1\*</sup>, Umran Sarita<sup>1</sup>, Rini Sriyani<sup>1</sup>, Baso Mursidi<sup>1</sup>, Sultan Machmud Hasan Masikki<sup>1</sup>, Sulha<sup>1</sup>, Wuliman La Ode<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D3 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

<sup>2</sup>Alumni Program Studi D3 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

Koresponden\*, Email: [kuliah.mhdadityawan2@gmail.com](mailto:kuliah.mhdadityawan2@gmail.com)

Info Artikel	Abstract
Diajukan : 1 September 2024 Diperbaiki : 12 September 2024 Disetujui : 25 September 2024	<p><i>Along with the increase in population, vehicle users also increase significantly every year. The need for gasoline also increases. In addition, the increase in mining activities regionally also contributes to the increase in the need for gasoline. To ensure the availability of gasoline in Kendari City, PT. Pertamina is improving infrastructure in the form of adding tanks with a capacity of 5000 KL. This study aims to determine the dimensions of the appropriate storage tank foundation based on the bearing capacity of the soil. Analysis of the foundation bearing capacity is carried out by first interpreting soil data and storage tank structure data according to API 650. The initial foundation dimensions are determined by trial. Analysis of bearing capacity based on sondir data correlated to the undrained cohesion value. The results of the analysis obtained that the maximum pressure acting on the soil under the foundation is smaller than the allowable bearing capacity of the foundation. Thus, the dimensions of the foundation that have been determined are appropriate and comply the requirements of safety factor.</i></p>
Keywords: tank, foundation, bearing capacity	<p><b>Abstrak</b> Seiring dengan penambahan penduduk pengguna kendaraan juga meningkat secara signifikan setiap tahunnya. Sehingga kebutuhan akan bahan bakar juga meningkat. Selain itu, meningkatnya aktivitas pertambangan secara regional turut menyumbang peningkatan kebutuhan bahan bakar minyak (BBM). Untuk menjamin ketersediaan BBM di Kota Kendari, PT. Pertamina melakukan peningkatan infrastruktur berupa penambahan tangki dengan kapasitas 5000 KL. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dimensi fondasi tangki timbun yang sesuai berdasarkan daya dukung tanahnya. Analisis daya dukung fondasi dilakukan dengan terlebih dahulu menginterpretasi data tanah dan data struktur tangki timbun sesuai API 650. Dimensi fondasi awal ditentukan secara <i>trial</i>. Analisis daya dukung berdasarkan data sondir yang dikorelasikan ke nilai kohesi undrained. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai tekanan maksimum yang bekerja pada tanah di bawah fondasi lebih kecil dibandingkan daya dukung ijin dari fondasi. Dengan demikian dimensi fondasi yang telah ditetapkan telah sesuai dan memenuhi persyaratan angka aman.</p>
Kata kunci: Tangki, fondasi, daya dukung	

### 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan penambahan penduduk pengguna kendaraan juga meningkat secara signifikan setiap tahunnya. Sehingga kebutuhan akan bahan bakar juga meningkat. Di Provinsi Sulawesi Tenggara sendiri pada bulan Agustus 2018, konsumsi pertamax meningkat 43 persen atau sebesar 640 kilo liter (KL) dan konsumsi pertalite naik 24% sebesar 11.358 KL. Selain itu, meningkatnya aktivitas pertambangan secara regional turut menyumbang peningkatan kebutuhan bahan bakar minyak (BBM). Pertamina sebagai Badan Usaha Milik Negara yang bertanggung jawab dalam penyediaan bahan bakar di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia perlu meningkatkan infrastruktur guna mengantisipasi meningkatnya kebutuhan akan bahan bakar, salah satunya dengan cara peningkatan kapasitas tangki timbun bahan bakar ,minyak (BBM). Tangki timbun adalah bejana selain bejana tekanan yang menyimpan atau menimbun cairan bahan berbahaya atau cairan lainnya, di dalamnya atau ditimbun dengan volume tertentu [1]. Tangki timbun banyak digunakan di industri

dalam menimbun minyak, gas, air dan bahan kimia lainnya (*petrochemical*) karena kelebihanannya dalam menampung produk dengan kapasitas besar [2].

Untuk menjamin ketersediaan BBM di Kota Kendari, PT. Pertamina melakukan peningkatan infrastruktur dengan mengupgrade tangki dengan kapasitas 5000 KL dari sebelumnya yang hanya memiliki kapasitas 2000 KL. Dalam perencanaan infrastruktur tersebut pertimbangan teknis sangat penting dilakukan agar diperoleh desain yang sesuai dan dapat meminimalisir permasalahan stabilitas struktur pada tahap operasional. Stabilitas tangki sangat dipengaruhi oleh kestabilan fondasi yang berfungsi menyebarkan beban struktur tangki dan minyak ke dalam tanah. Dengan demikian, tinjauan stabilitas fondasi merupakan bagian yang terpenting dalam perencanaan tangki timbun.

Dari uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menentukan dimensi fondasi tangki BBM 5000 KL berdasarkan kondisi mekanikal, morfologi dan geoteknik pada lokasi penelitian. Kondisi geoteknik dalam hal ini adalah daya dukung fondasi tangki dan kekuatan tanah dasarnya.

## 2. METODE

### 2.1 Data Investigasi Geoteknik

Lokasi penelitian terletak pada kawasan Pertamina Region VII Sulawesi, Kelurahan Mata, Kecamatan Kendari Barat, Kota Kendari. Lokasi pembangunan tangki baru terletak pada lokasi tangki lama (Gambar 1). Untuk mendukung perencanaan fondasi diperlukan parameter tanah yang memadai. Investigasi tanah dilakukan untuk memperoleh parameter tanah serta mengetahui kekuatan dan kondisi perlapisan tanah pada area pembangunan tangki timbun baru. Investigasi tanah di lapangan terdiri atas uji *hand bor* dan uji *cone penetration test* (sondir). Terdapat 2 titik uji *handbor* sampai kedalaman 2 meter. Hasil uji *handbor* HB-01 terdiri atas lapisan tanah homogen berupa lempung berpasir sedang-halus, mengandung kerikil kuning kecoklatan. Sedangkan dari HB-02 diketahui bahwa pada permukaan tanah terdapat lapisan lanau, pasir sedang-halus setebal 20 cm, kemudian di bawahnya ditemukan lapisan pasir halus sampai kasar mengandung kerikil kuning kecoklatan hingga akhir pengeboran. Untuk uji sondir dilakukan pada 3 titik dengan kedalaman yang berbeda-beda. Kedalaman masing-masing titik sondir untuk SO-01 sampai pada kedalaman 2.6 m, SO-02 kedalaman 1.8 m, dan SO-03 memiliki kedalaman 2.4 m. Lokasi titik pengujian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian dan Titik Investigasi Tanah

Uji sondir/ *Dutch Cone Penetration Test* (DCPT) dilaksanakan pada 3 titik pengujian. Dari ketiga titik pengujian diperoleh nilai hambatan konus ( $q_c$ ) 145 kg/cm<sup>2</sup> pada kedalaman di bawah 2 m. Untuk lebih

jelasnya, interpretasi data tanah antara nilai  $q_c$  dan kedalaman dari tiga titik sondir dirangkum pada tabel berikut:

**Tabel 1.** Data  $q_c$  pada Tiga Titik Sondir

Kedalaman (m)	Nilai Hambatan Konus, $q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Sondir 01	Sondir 02	Sondir 03
0.2	47	35	45
0.4	59	59	55
0.6	60	65	59
0.8	115	80	75
1	130	115	100
1.2	125	125	125
1.4	135	140	120
1.6	140	150	130
1.8	130	175	135
2.0	145		145
2.2	155		165
2.4	180		185
2.6	185		

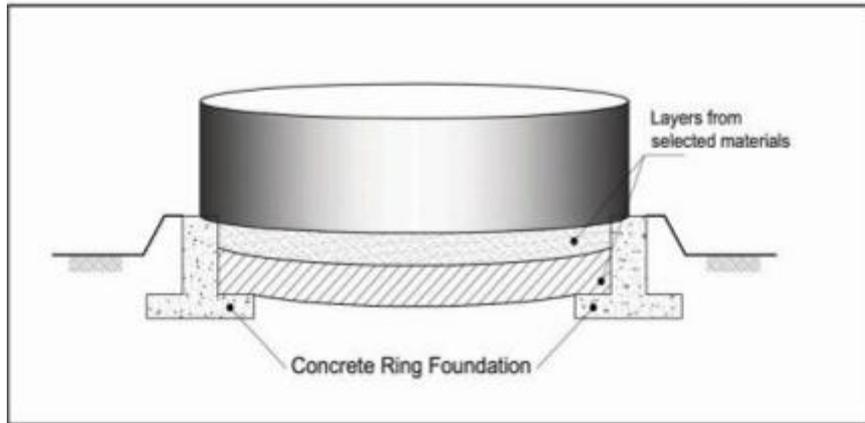
Dari tabel di atas diketahui bahwa berdasarkan data sondir 01 dan 03, hambatan konus ( $q_c$ ) pada kedalaman 2 m adalah sebesar 145 kg/cm<sup>2</sup>, adapun dari titik sondir 02 pengujian pada kedalaman tersebut telah dihentikan karena kapasitas sondir telah memenuhi pada kedalaman 1,8 m. Berdasarkan hal tersebut diasumsikan bahwa nilai sondir pada kedalaman 2 m pada titik 02 telah melebihi 145 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.2 Data Struktur dan Tangki Timbun Kapasitas 5000 kL.

Dalam analisis daya dukung fondasi tangki timbun, selain data tanah diperlukan data struktur atas untuk mengetahui tegangan maksimum yang bekerja pada dasar fondasi baik saat kondisi kosong (*empty*), kondisi operasional dan kondisi testing. Selain itu dilakukan uji coba dalam menentukan dimensi fondasi yang tepat sehingga diperoleh daya dukung ijin yang lebih besar dari tegangan maksimum pada tiga kondisi di atas. Dalam *paper* ini tangki yang digunakan berupa tangki timbun vertikal kapasitas 5000 KL di atas permukaan tanah berdiameter 20 m dan tinggi 16 m (Gambar 2) [3].

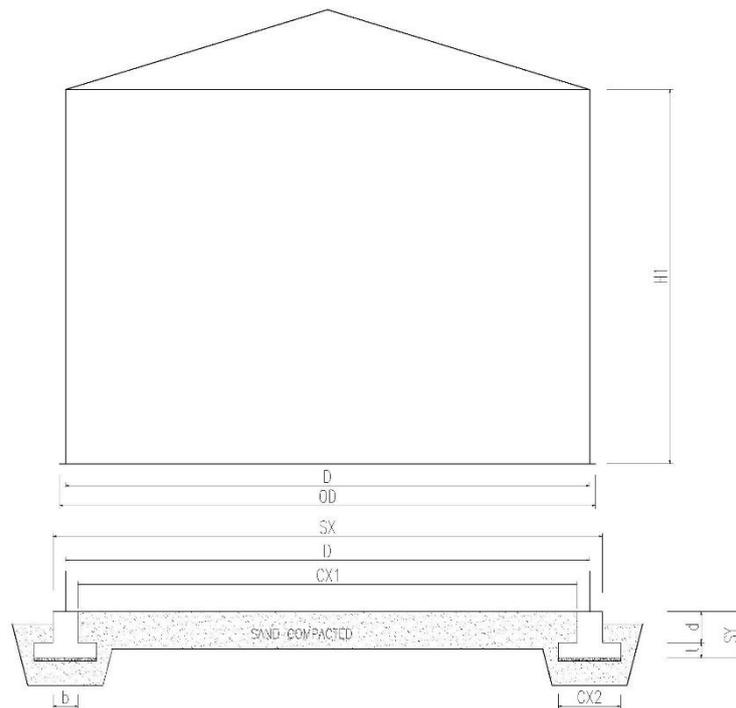


dibahas dalam artikel ini. Meskipun begitu, daya dukung tanah di bawah timbunan akan tetap dianalisis dalam penelitian ini



**Gambar 3.** Ilustrasi Tipe Fondasi Tangki Timbun yang ditinjau [4]

Dari data di atas kemudian dilakukan perhitungan *trial* untuk mengetahui apakah daya dukung fondasi dapat memikul beban yang bekerja. Rangkuman data parameter tangki timbun kapasitas 5000 KL dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 3.



**Gambar 4.** Ilustrasi Potongan Fondasi Tangki Timbun Beserta Simbol Dimensinya

**Tabel 3.** Data Dimensi Tangki Timbun

Parameter	Simbol	Nilai (m)	Sumber
Tinggi Tangki	H	16	<i>Data Sheet</i> Mekanikal
Diameter luar tangki	OD	20,03	<i>Data Sheet</i> Mekanikal
Diameter dalam tangki	D	20	<i>Data Sheet</i> Mekanikal
Tinggi <i>ringwall</i>	d	1,6	<i>Trial</i>
Lebar <i>ringwall</i>	b	0,75	<i>Trial</i>
Tebal fondasi telapak	t	0,4	<i>Trial</i>
Lebar dasar fond.telapak	Cx2	1,5	<i>Trial</i>
<i>Outer diameter ringwall</i>	Sx	20,75	D+2*0,5b
Tinggi fondasi+ <i>ringwall</i>	Sy	2	t+d
Diameter <i>inner ringwall</i>	Cx1	19,25	D-2*0,5b
Diamter <i>outer</i> fond. Telapak	Cx4	21,50	D+2*0,5Cx2
Diameter <i>inner</i> fond. Telapak	Cx5	18,05	D-2*0,5Cx2

Karena fondasi yang digunakan berupa fondasi *ringwall* maka transfer beban tangki akan terbagi yakni ke area *ringwall* dan ke area tanah timbunan di dasar tangki. Sehingga diperlukan perhitungan distribusi beban ke area yang dipikul oleh *ringwall* dan ke tanah timbunan. Untuk itu luas area dan momen inersia perlu dihitung. Adapun perhitungan luas area dan momen inersia yang dimaksud disajikan dalam Tabel 4 berikut:

**Tabel 4.** Data Dimensi Tangki Timbun

Parameter	Simbol	Rumus	Hasil (m <sup>2</sup> )	Hasil (cm <sup>2</sup> )
<i>Area of Ringwall</i>	A <sub>F</sub>	$\frac{1}{4} \pi (Sx^2 - Cx1^2)$	47,12	471.238,90
<i>Area of Soil</i>	A <sub>S</sub>	$\frac{1}{4} \pi Cx1^2$	491,04	2.910.391,07
<i>Area Enclosed by Tank</i>	A <sub>T</sub>	$\frac{1}{4} \pi D^2$	314,16	3.141.592,65
<i>Section Modulus of Ringwall</i>	w	$\frac{1}{32} \pi (Sx^3 - Cx1^3)$	176,80	176.797.421,73

Dari data di atas, dihitung persentase distribusi beban yang ditransfer ke *ringwall* dan ke tanah timbunan. Persentase beban yang tertransfer ke *ringwall* (P1) adalah 7,36% dari keseluruhan area yang tertutup oleh tangki (A<sub>T</sub>). Sedangkan persentase beban tangki yang terdistribusi ke tanah timbunan (P2) adalah 92,64%.

### 2.3 Desain Beban Angin dan Gempa

Desain beban angin untuk bangunan struktur lain berbentuk lingkaran seperti tangki dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$F = q_z K_d G C_f A_f \quad (1)$$

Dengan  $F$ : Tekanan angin pada dinding (kN),  $q_z$ : Tekanan angin (N/m<sup>2</sup>),  $K_d$ : faktor arah angin,  $G$ : *gust factor*,  $C_f$ : *force coefficients*,  $A_f$ : *Projected Area normal to the wind* (m<sup>2</sup>) [5].

Desain beban gempa terdiri atas dua gaya geser yaitu geser impulsif dan geser konvektif. Gaya impulsif adalah gaya yang terletak dekat dasar tangki dan terbentuk akibat gerakan massa cairan yang bergerak bersama-sama dengan gerakan tangki saat terjadi gempa. Gaya konvektif disebabkan oleh gerakan bolak-balik (*sloshing*)

massa cairan dalam tangki akibat gaya gempa [6]. Gaya geser impulsif dan konvektif masing-masing dihitung menggunakan persamaan 2 dan 3 [5].

$$V_i = A_i(W_s + W_r + W_f + W_i) \quad (2)$$

Dan untuk konvektif :

$$V_c = A_c W_c \quad (3)$$

Dengan  $V_i$  : gaya geser dasar akibat impulsif (kN),  $A_i$  : desain impulsif koefisien percepatan respon spektra (%g),  $W_s$  : berat dinding tangki dan perlengkapannya (kN),  $W_r$  : Berat atap dan rangka, serta perlengkapannya (kN),  $W_f$  : berat pelat dasar tangki (kN),  $W_i$  : *effective impulsive portion of the liquid weight* (kN),  $V_c$  : gaya geser dasar akibat konvektif (kN),  $A_c$  : desain konvektif parameter percepatan respon spektra (%g),  $W_c$  : *effective convective (sloshing) portion of the liquid weight* (kN). Karena  $D/H$ : 1,25 maka untuk menentukan nilai  $W_i$  (*effective impulsive portion of the liquid weight*) dapat menggunakan persamaan 4 berikut:

$$W_i = \left[ 1,0 - 0,218 \frac{D}{H} \right] W_p \quad (4)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai  $W_c$  digunakan persamaan 5 berikut:

$$W_c = 0,230 \frac{D}{H} \tanh \left[ \frac{3,67 H}{D} \right] W_p \quad (5)$$

Untuk menentukan nilai  $A_i$  dan  $A_c$  masing-masing dihitung menggunakan persamaan 6 dan 7 Berikut:

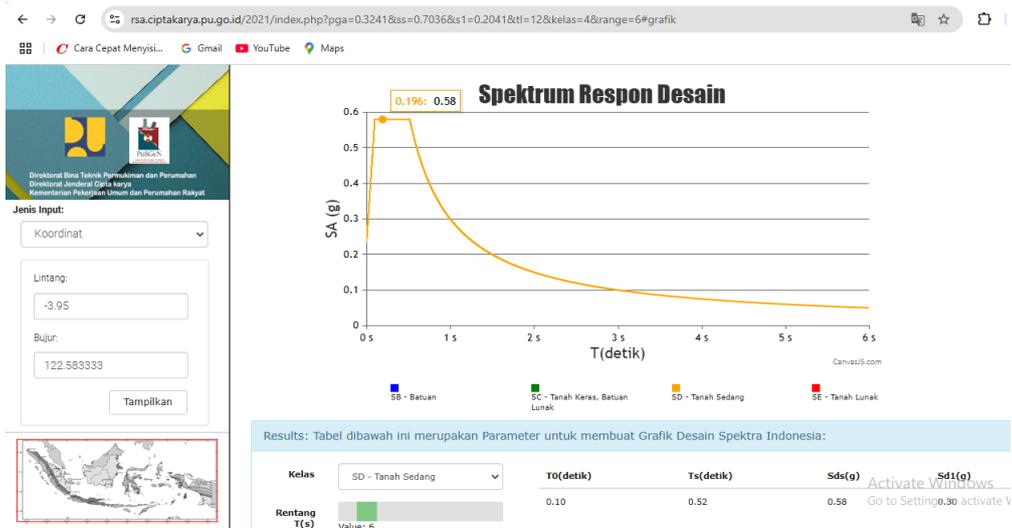
$$A_i = S_{DS} \left( \frac{I}{R_{wi}} \right) \quad (6)$$

$$A_c = K S_{D1} \left( \frac{I}{R_{wc}} \right) \quad \text{untuk } (T_c < T_L) \quad (7)$$

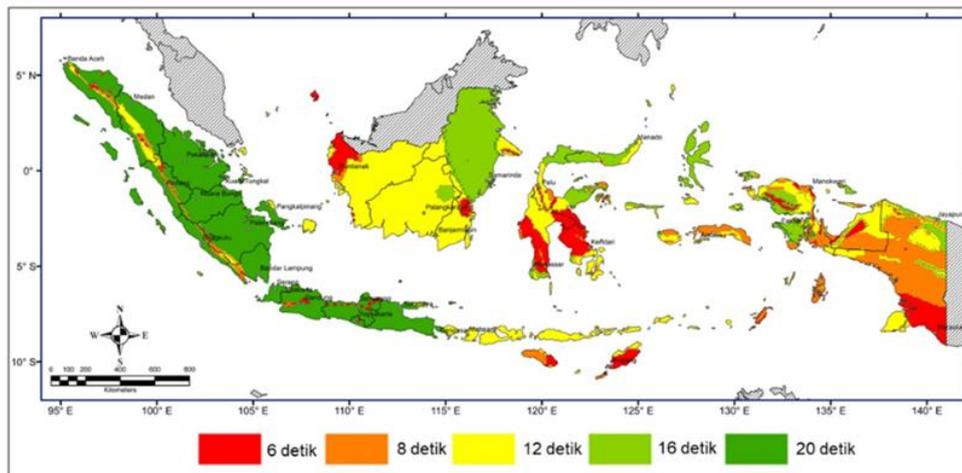
$$K_S = \left( \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68 H}{D}\right)}} \right) \quad (8)$$

$$T_c = 1,8 K_S \sqrt{D} \quad (9)$$

Dengan  $S_{DS}$  : *the design, 5% damped, spectra response acceleration parameter at short periods* ( $T = 0,2$  seconds) diperoleh dari grafik respon spektra dari website Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR [7], dari Gambar 5 untuk kota kendari diperoleh nilai nilai  $S_{DS}$  sebesar 0,58.  $R_{wi}$  : faktor reduksi gaya impulsif berdasarkan metode *allowable strength design* (ASD) nilai  $R_{wi} = 3$  [3],  $R_{wc}$  : faktor reduksi gaya konvektif berdasarkan metode ASD nilai  $R_{wc} = 2$  [3]  $I$  : *importance factor* untuk bangunan tangki adalah 1,25 [8];  $K_S$  : *sloshing period coefficient*,  $T_c$  : *natural period of the convective (sloshing) mode of behavior of the liquid* dan  $T_L$  : *regional dependent transition period for longer period ground motion* diperoleh dari Gambar 6 untuk kota kendari nilai  $T_L = 6$  detik.



Gambar 5. Respons Spektra Kota Kendari



Gambar 6. Regional Dependent Transition Period

## 2.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diadopsi dari kombinasai pembebanan dari SNI 1727:2020 [9] yang disesuaikan dengan tiga kondisi dalam analisis pembebanan tangki timbun dalam penelitian ini yakni; beban kondisi kosong/*empty*( $D_E$ ) , kondisi operasional ( $D_O$ ) dan kondisi testing ( $D_T$ ). Selain itu, dalam menganalisis daya dukung digunakan metode ASD. Kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Kombinasi Pembebanan Tangki Timbun

Kombinasi	Deskripsi Formula
1	$(D+D_E)$
2	$(D+D_E)+0,6*W$
3	$(D+D_E)+0,7*E$
4	$(D+D_O)$
5	$(D+D_O)+0,6*W$
6	$(D+D_O)+0,7*E$

Kombinasi	Deskripsi Formula
7	(D+DT)
8	(D+DT)+0,6*W

## 2.5 Daya Dukung Fondasi

Untuk menghindari *differential settlement* pada tangki maka analisis daya dukung fondasi didasarkan pada kondisi tanah terburuk. Oleh karena itu, jenis tanah mengikuti hasil interpretasi data *handbor* HB-01 yaitu tanah lempung berpasir. Berdasarkan data sondir dilakukan rata-rata nilai  $q_c$  pada kedalaman 2 m sampai 3,5 m atau sampai akhir pengujian. Nilai  $q_c$  rata-rata dari dasar fondasi rencana (2m) sampai akhir sondir adalah  $165 \text{ kg/cm}^2$ . Sanglerat pada tahun 1972 mengusulkan hubungan kuat geser *undrained* ( $c_u$ ) dengan tahanan konus pada tanah kohesif. Untuk tanah lempung terkonsolidasi berlebihan ( $q_c > 25 \text{ kg/cm}^2$ ), korelasi nilai  $c_u$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [10]:

$$c_u = q_c / 26 \text{ sampai } q_c / 22 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (10)$$

Skempton 1951 mengusulkan persamaan kapasitas dukung ultimit fondasi yang terletak pada tanah lempung. Daya dukung ultimit neto menggunakan persamaan 11 berikut:

$$q_{un} = c_u N_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (11)$$

$N_c$  adalah faktor daya dukung yang ditentukan sebagai berikut:

$N_c(\text{Permukaan}) = 5,14$ ; untuk fondasi memanjang (kedalaman fondasi 0 m)

$$N_c = \left(1 + 0,2 \frac{S_y}{C_x^2}\right) N_c(\text{Permukaan}) \text{ Untuk fondasi pada kedalaman } 0 < S_y < 2,5 C_x^2 \quad (12)$$

Daya dukung izin fondasi diperoleh dari daya dukung ultimit neto dibagi dengan angka aman/ *safety factor* (SF) berdasarkan API 650 di mana angka aman untuk tangki timbun sebagai berikut [3]:

- SF 2 to 3 → Kondisi normal operasional
- SF 1,5 sampai 2,25 → selama pengujian hydrostatic (testing)
- SF 1,5 sampai 2,25 → kondisi operasional ditambah pengaruh beban angin dan gempa maksimum.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Perhitungan Beban Fondasi (D)

Dalam analisis daya dukung fondasi tangki timbun BBM 5000 KL diperlukan analisis pembebanan yang bekerja pada tangki. Beban tangki pada kondisi kosong ( $D_E$ ), *operating* ( $D_O$ ) dan *testing* ( $D_T$ ) diperoleh dari *data sheet* mekanikal dan dapat dilihat pada Tabel 2. Fondasi terdiri atas dua komponen yaitu; *ringwall* dan fondasi telapak. Untuk menghitung beban fondasi maka volume *ringwall* dan volume fondasi telapak dijumlahkan (Tabel 3 dan 4) kemudian dikalikan dengan berat volume meterialnya yaitu beton bertulang sebesar  $2.400 \text{ kg/m}^3$  [9] sehingga diperoleh beban fondasi sebesar 271.433,61 kg. Untuk beban tanah timbunan dihitung dengan menghitung volume *soil* pada (Tabel 3 dan 4) kemudian dikalikan dengan berat volume tanah pasir sebesar  $1.800 \text{ kg/m}^3$  [9] sehingga diperoleh beban tanah timbunan sebesar 838.192,63 kg.

### 3.2 Perhitungan Beban Angin

Gaya geser angin diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 dengan parameter yang ditentukan berdasarkan kondisi struktur serta lokasi bangunan.  $q_z = 910,19 \text{ N/m}^2$ ,  $K_d : 1,0$ ,  $G : 0,85$ ,  $C_f : 0,63$ ,  $A_f : 337,10 \text{ m}^2$ . Sehingga

diperoleh nilai  $F$  sebesar 164,31 kN atau 16.766,01 kg. Momen akibat beban angin ( $M_F$ ) dihitung sebagai berikut:

$$M_F = F \frac{H}{2} = 141.016,01 \text{ kg.m}$$

Adapun reaksi vertikal akibat beban angin ( $R_F$ ) diuraikan sebagai berikut:

$$R_F = F / (0,87D) * H/2 = 8.099,47 \text{ kg}$$

Pembebanan akibat beban angin pada *ringwall* (keliling tangki) =  $R_F/\pi D = 128,91 \text{ kg/m}$

### 3.3 Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa pada tangki terdiri atas dua komponen yaitu komponen impulsif dan komponen konvektif. Rekapitulasi parameter gaya geser komponen impulsif disajikan dalam tabel berikut:

**Tabel 6.** Parameter gaya geser impulsif

Parameter	Nilai
Ws	901,45 kN
Wr	311,50 kN
Wf	272,97 kN
Wp	33.221,22 kN
Wi	24.168,44 kN
Ai	0,24 %g

Desain gaya geser dasar akibat komponen impulsif pada kondisi kosong ( $V_{iE}$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan 2 dan diperoleh nilai yaitu sebesar 359,10 kN. Pada kondisi kosong,  $W_i$  tidak masuk dalam perhitungan dikarenakan ketiadaan cairan. Adapun gaya geser dasar akibat komponen impulsif pada kondisi operating ( $V_{iO}$ ) diperoleh nilai sebesar 6.199,80 kN. Untuk perhitungan gaya geser konvektif dihitung menggunakan persamaan 5 dan diuraikan sebagai berikut:

$$W_c = 0,230 \frac{20}{16} \tanh \left[ \frac{3,67 \cdot 16}{20} \right] 33.221,22 = 9.497,44 \text{ kN}$$

Sedangkan untuk  $A_c$  diperoleh nilai 0,24%g dengan menggunakan persamaan 7.

Desain gaya geser dasar akibat komponen konvektif pada kondisi kosong ( $V_{cE}$ ) tidak diperhitungkan dikarenakan ketiadaan cairan. Adapun gaya geser dasar akibat komponen konvektif pada kondisi operating ( $V_{cO}$ ) dihitung menggunakan persamaan 3 dan diperoleh nilai sebesar 2.244,67 kN.

Desain gaya geser total untuk kondisi kosong  $V_E$  adalah sama dengan nilai  $V_{iE}$  dikarenakan tidak ada komponen konvektif. Untuk gaya geser total untuk kondisi operating  $V_O$  diuraikan sebagai berikut:

$$V_O = \sqrt{V_{iO}^2 + V_{cO}^2} = \sqrt{6.199,80^2 + 2.244,67^2} = 6.593,64 \text{ kN}$$

Adapun momen untuk kondisi kosong akibat gaya geser gempa  $M_{SE} = 2.967,97$  kN.m, momen untuk kondisi operating  $M_{SO} = 62.435,83$  kN.m. Reaksi vertikal akibat beban gempa maksimum diambil nilai V terbesar yaitu pada kondisi *operating*. Perhitungan reaksi vertikal beban gempa diuraikan sebagai berikut:

$$R_s = V_o / (1,07D) * H/2 = 3.927,3 \text{ kg}$$

Pembebanan pada *ringwall* (keliling tangki) =  $R_s / \pi D = 62,51$  kg/m

### 3.4 Distribusi Beban Tangki Timbun

Beban vertikal yang bekerja pada tangki pada kondisi kosong ( $D_E$ ), *operating* ( $D_O$ ), dan *testing* ( $D_T$ ) terdistribusi langsung ke atas *ringwall* dan ke tanah timbunan. berdasarkan perhitungan sebelumnya diketahui bahwa persentase beban yang tertransfer ke *ringwall* (P1) adalah 7,36% dan ke tanah timbunan (P2) adalah 92,64% terhadap luas total pada dasar tangki. Distribusi beban pada setiap kondisi disajikan dalam tabel berikut:

**Tabel 7.** Perhitungan Distribusi Beban

Kondisi	Rumus	Hasil (kg)
Terhadap <i>ringwall</i> ( $N_R$ )		
<i>Empty</i> /Kosong	$D_E * P1 * A_T$	61.249,71
<i>Operating</i>	$D_O * P1 * A_T$	1.676.402,24
<i>Testing</i>	$D_T * P1 * A_T$	2.030.279,07
Terhadap tanah timbunan ( $N_S$ )		
<i>Empty</i> /Kosong	$D_E * P1 * A_T$	771.018,16
<i>Operating</i>	$D_O * P1 * A_T$	21.102.736,45
<i>Testing</i>	$D_T * P1 * A_T$	25.557.377,03

Adapun rekapitulasi beban yang bekerja pada tangki disajikan dalam Tabel 8 berikut:

**Tabel 8.** Rekapitulasi Beban

Beban	Remarks	Vertikal (kg)		Horizontal	Momen
		Terhadap <i>ringwall</i> ( $N_R$ )	Terhadap <i>Soil</i> ( $N_S$ )	(Kg) H	(Kg.m) Mo
D fondasi	Fondasi	271.433,61	-	-	-
D <i>soil</i>	<i>Soil</i>	-	838.192,63	-	-
DE	<i>Empty</i>	61.429,71	771.018,16	-	-
DO	<i>Operating</i>	1.676.402,24	21.102.736,45	-	-
DT	<i>Hydraulic Testing</i>	2.030.279,07	25.557.377,03	-	-
WL	<i>Wind Load</i>	8.099,47	-	16.766,01	141.016,01
EL	Seismic Load	3.927,30	-	627.353,68	6.366.582,05

### 3.5 Analisis Daya Dukung

Daya dukung fondasi tangki dihitung menggunakan persamaan 11, dan data tanah yang digunakan adalah pada kondisi terburuk yaitu data HB-01. Berdasarkan data HB-01 jenis tanah pada lokasi berupa tanah lempung berpasir. Kedalaman tanah keras terletak di bawah kedalaman 2 m. Berdasarkan hal tersebut ditentukan kedalaman fondasi pada kedalaman 2 m. Dari data sondir SO-3 nilai hambatan konus rata-rata dari kedalaman 2 meter hingga akhir uji sondir adalah sebesar 165 kg/cm<sup>2</sup>.

Korelasi nilai  $c_u$  dihitung dengan menggunakan persamaan 10. Dari perhitungan diperoleh nilai  $c_u$  sebesar 6,35 kg/cm<sup>2</sup>. Karena letak fondasi berada pada kedalaman 2 m sehingga  $N_c$  yang digunakan dihitung dengan menggunakan persamaan 12 dan diperoleh nilai  $N_c$  sebesar 6,51. Dengan demikian, daya dukung ultimit neto ( $q_{un}$ ) yang dihitung menggunakan persamaan 11 adalah sebesar 41,32 kg/cm<sup>2</sup>.

Daya dukung ijin ( $q_a$ ) dihitung dengan cara membagi nilai daya dukung ultimit neto dengan angka aman. Angka aman yang digunakan adalah  $SF=3$ . Adapun perhitungan daya dukung ijin diuraikan sebagai berikut:

$$q_a = \frac{q_{un}}{SF} = \frac{41,32}{3} = 13,77 \text{ kg/cm}^2$$

Dalam metode ASD, daya dukung fondasi dikatakan memenuhi syarat apabila tekanan tanah maksimum akibat beban yang bekerja < daya dukung ijin ( $q_a$ ). Tekanan tanah maksimum yang bekerja di bawah fondasi ( $P_R$ ) dihitung berdasarkan persamaan 13 berikut :

$$P_R = \frac{N_R}{A_F} + \frac{M}{W} \quad (13)$$

Adapun tekanan tanah maksimum yang bekerja di bawah tanah timbunan ( $P_S$ ) ditentukan dengan menggunakan persamaan 14:

$$P_S = \frac{N_S}{A_S} \quad (14)$$

Evaluasi tekanan tanah maksimum berdasarkan kombinasi pembebanan terhadap daya dukung ijin disajikan dalam Tabel 9 berikut:

**Tabel 9.** Evaluasi Tekanan Tanah Maksimum terhadap Daya Dukung Ijin

No	Kombinasi Pembebanan	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )				$q_a$	Hasil ( $P_S$ dan $P_R < q_a$ )
		$N_R/A_F$	$M/W$	$P_R$	$P_S$		
1	(D+D <sub>E</sub> )	0,71	0	0,71	0,55	13,77	Ok
2	(D+D <sub>E</sub> )+0,6*W	0,72	0,00048	0,72	0,55	13,77	Ok
3	(D+D <sub>E</sub> )+0,7*E	0,71	0,025	0,74	0,55	13,77	Ok
4	(D+D <sub>O</sub> )	4,13	0	4,13	7,54	13,77	Ok
5	(D+D <sub>O</sub> )+0,6*W	4,14	0,00048	4,14	7,54	13,77	Ok
6	(D+D <sub>O</sub> )+0,7*E	4,14	0,0250	4,16	7,54	13,77	Ok
7	(D+D <sub>T</sub> )	4,88	0	4,88	9,07	13,77	Ok
8	(D+D <sub>T</sub> )+0,6*W	4,89	0,00036	4,89	9,07	13,77	Ok

Dari Tabel 9 diketahui bahwa tekanan tanah maksimum diperoleh dari kombinasi 8 dengan nilai tekanan dibawah fondasi ( $P_R$ ) sebesar  $4,89 \text{ kg/cm}^2$ , tekanan di bawah tanah timbunan ( $P_S$ ) maksimum adalah sebesar  $9,07 \text{ kg/cm}^2$ . Karena nilai  $P_R$  dan nilai  $P_S < q_a$  maka dapat disimpulkan bahwa daya dukung fondasi dengan dimensi *trial* telah memenuhi angka aman atau *safety factor* yang telah ditetapkan. Meskipun begitu dalam penelitian ini stabilitas fondasi hanya ditinjau dari sisi daya dukung saja, sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk tinjauan stabilitas terhadap guling, geser serta penurunannya.

#### 4. KESIMPULAN

Analisis daya dukung fondasi tipe *ringwall* untuk tangki timbun BBM kapasitas 5000 KL telah dilaksanakan. Dimensi fondasi ditentukan secara *trial*; kedalaman total fondasi yaitu 2 m, lebar telapak 1,5 m, tebal fondasi telapak sebesar 0,4 m, tinggi *ringwall* 1,6 m, tebal *ringwall* 0,75 m, fondasi *ringwall* berdiameter 20 m. Dari hasil analisis diperoleh daya dukung ijin sebesar  $13,77 \text{ kg/cm}^2$  dimana nilai ini lebih besar dibandingkan tekanan maksimum yang bekerja pada tanah di bawah fondasi telapak dan di bawah timbunan tanah. Dengan demikian daya dukung fondasi berdasarkan dimensi *trial* telah memenuhi persyaratan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Peraturan Menteri Ketenaga Kerjaan Nomor 37 2016, "Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bejana Tekanan dan Tangki Timbun"
- [2] B. Long, B Gardner, "Guide to Storage Tanks and Equipment," Wiley, 2004.
- [3] API 650 The American Petroleum Institutr Welded Tanks for Oil Storage 2007.
- [4] Wirdawardana, D., "Shortcourse Series Teknik Sipil; Perancangan Fondasi Tangki Timbun" Sipil Pedia 21 September 2024
- [5] ASCE 7-22 "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Building and Other Structure", 2022
- [6] Safarno, Y. Gunawan, P. Aksar "Perencanaan Tangki Reservoir Distribusi Air Bersih untuk Bangunan Tiga Lantai Kapasitas 11000 Liter (Lab. Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo)," *Enthalpy*, Vol. 8, no. 4, page 147-153, Desember. 2023.
- [7] rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021.
- [8] SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.2019.
- [9] SNI 1727: 2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. 2020.
- [10] H.C. Hardiyatmo, "Analisis dan Perancanagn Fondasi I, Edisi ke 3," *Gajah Mada University Press*, Yogyakarta, 2014.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*