

Perencanaan *Make Up Water Tank* Kapasitas 500 kl PLTGU Blok I, II, & III PT PJB UP Gresik

Meryanalinda¹, Wardjito², Ahmad Setyawan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email: [1meryanalinda.anharmi@gmail.com](mailto:meryanalinda.anharmi@gmail.com), [2totokwardjito1@gmail.com](mailto:totokwardjito1@gmail.com)

Abstract

At the steam gas power plant (PLTGU) there are various kinds of equipment, namely common, Gas Turbine (GT), Steam Turbine (ST). In common, the main water system has a very important role. Where the water raw material will later be used as a cooling system & the main ingredient into steam (dry steam). This process starts from processing seawater into feed water that has a certain pH and conductivity, then it is processed in the water treatment plant (pH 8-9 and conductivity $\leq 1 \mu/cm$). To maintain the supply of the main ingredient of water, it is necessary to have a storage that functions to ensure the availability of make up water supply during normal unit operation. This research was conducted to find out in planning the make up water storage tank with a capacity of 500 kl at PLTGU Gresik Generation Unit. Dimension of make up water tank is 9,125 m high & 10 m diameter and using ASTM A36 material in accordance with API 650 standard. The calculation results are known that the thickness of the 1st shell plate is 7 mm, the 2nd shell plate is 6 mm, the 3rd shell plate is 5 mm, and the 4th shell plate is 5 mm. The thickness of the bottom plate and annular plate is 10 mm, with the results of these calculations it is recommended that a welding procedure be made according to the thickness of the shell plate.

Keywords: API standard 650, Make up, Tank, Treatment, Water, Welding.

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan suatu faktor penunjang yang sangat penting bagi perkembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Dengan semakin meningkatnya kegiatan industri dan jumlah penduduk, maka kebutuhan energi listrik juga mengalami peningkatan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan listrik di Indonesia, antara lain ketersediaan energi primer, harga bahan bakar, teknologi, dan budaya masyarakat. Kebutuhan listrik tersebut dapat terpenuhi oleh pembangkit-pembangkit listrik yang ada, salah satunya ialah Unit Pembangkitan (UP) Gresik yang merupakan salah satu unit pembangkit di lingkungan PT PJB. Unit ini menghasilkan listrik dengan energi yang berasal dari tenaga uap dan gas.

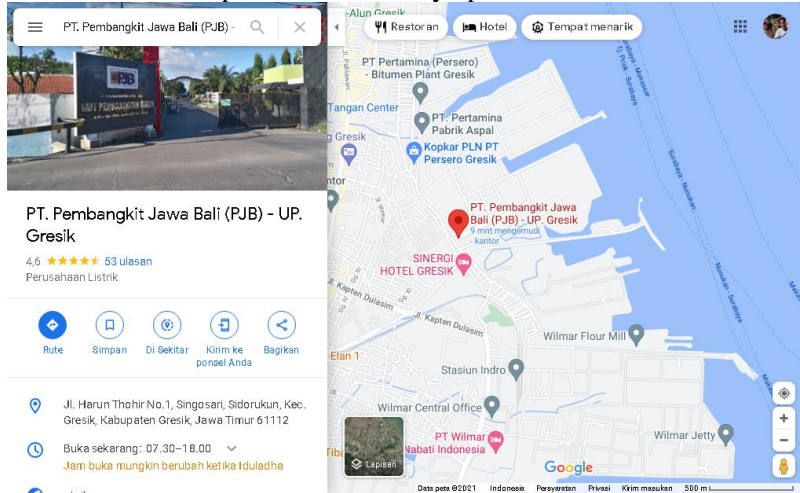
Pada sistem pembangkit listrik tenaga uap, sistem air utama memiliki peranan yang sangat penting, dimana bahan baku nantinya akan diubah menjadi *steam* (uap kering). Sistem ini dimulai dengan pengolahan air laut diubah menjadi *feed water* yang memiliki pH dan *conductivity* tertentu. Pada *water treatment* air tawar yang ditampung di *raw water tank* kemudian diubah menjadi air murni dengan dilewatkan pada *mix bed polisher*. *Mix bed polisher* berfungsi untuk mengambil ion-ion positif maupun negatif yang masih terkandung dalam air tawar dengan menggunakan resin anion & kation. Selanjutnya dari *water treatment plant* air akan ditampung dalam *make up water tank* (MUTP). *Make up water tank* (tangki air penambah) berfungsi sebagai penampung air penambah yang akan digunakan untuk menambah kekurangan air di dalam sistem PLTU [1]. Untuk penyimpanan bahan baku dibutuhkan tangki penyimpanan agar tidak kekurangan *supply* bahan baku air ketika unit-unit pembangkit beroperasi. Sebelum dilaksanakan pembangunan, tangki bahan baku air harus dirancang terlebih dahulu sesuai kebutuhan.

Tangki penyimpan bahan baku air umumnya berbentuk silinder, dan berdasar jenis air yang disimpan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *distillate water* & *make up water*. Penelitian ini akan membahas tentang perencanaan tangki dengan bahan baku air jenis *make up water* yang memiliki nilai *conductivity* $\leq 1 \mu/cm$. Tujuan dari rancang bangun struktur ini adalah untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, kuat, awet, ekonomis dan kemudahan dalam pelaksanaan selama batas umur yang

direncanakan. Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana cara merancang tangki *make up water* dengan kapasitas 500 kl sesuai standar API 650 di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik.

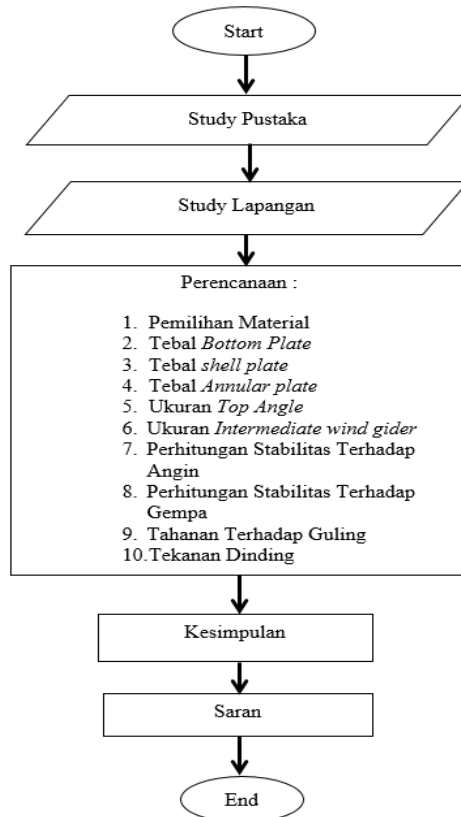
2. Metode

Waktu penelitian ini direncanakan selama kurang lebih 2 bulan, mulai bulan Oktober 2019 hingga bulan November 2019. Tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah di PT. PJB UP Gresik.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Perencanaan tangki ini mengacu pada *welded steel tank storage API 650 12th edition, January 2016* [2]. Hasil perhitungan menggunakan acuan yang paling minimum, namun dalam pelaksanaannya pembangunan tangki dapat menggunakan dimensi ataupun *grade* yang lebih tinggi dengan mempertimbangkan faktor akibat pengaruh perubahan ini.

Data umum perencanaan

<i>Design code</i>	: <i>API 650 12th Edition, January 2016</i>
<i>Type of tank</i>	: <i>above ground welded steel tank</i>
<i>Service (liquid contents)</i>	: <i>make up water</i>
<i>Nominal capacity</i>	: 500.000 liter
<i>Roof type</i>	: <i>fixed supported cone roof</i>
<i>Tank diameter (D)</i>	: 10.000 mm (10 m)
<i>Tank height (H)</i>	: 9.125 mm (9,125 m)
<i>Liquid specific gravity (G)</i>	: 1 t/m ³
<i>Corrosion allowance (C_A)</i>	: 3 mm
<i>Wind speed (v)</i>	: 100 mph
<i>Joint efficiency</i>	: 0,85
<i>Material specification</i>	: ASTM A36
<i>Allowable stress for design condition (S_d)</i>	: 160 Mpa
<i>Allowable stress for hydrostatic condition (S_t)</i>	: 171 Mpa

Perhitungan *shell plate*

Ketebalan minimum *shell plate* ditentukan menurut persyaratan API Std 650 pada tabel. 2.1 Untuk diameter tangki 10 m termasuk dalam *range* diameter <15 m, maka tebal minimum *shell plate* yang diijinkan adalah 5 mm. Plat dinding menggunakan 4 lapisan dengan lapisan pertama (*1st course*) merupakan lapisan yang terletak tepat di atas *annular plate* dan memiliki ketebalan yang lebih besar dibandingkan lapisan–lapisan di atasnya. Sedangkan lapisan dinding teratas (*4th course*) merupakan lapisan dengan ketebalan terkecil namun tidak lebih rendah dari tebal minimum yang diijinkan [3].

Hasil perhitungan minimum ketebalan *shell plate* dari lapisan paling bawah hingga bagian teratas dengan memakai metode *one foot method* yang ditentukan berdasarkan kondisi cairan yang direncanakan [4]. Rumus perhitungan tebal *shell plate* memakai API Standart 650 pasal 5.6.3.2.

Berdasarkan cairan yang direncanakan

$$t_d = \frac{4,9D(H-0,3)G}{ExS_d} + C_A \quad (1)$$

Berdasarkan *hydrottest* tangki

$$t_t = \frac{4,9D(H-0,3)}{S_t} \quad (2)$$

dimana:

t_d : tebal dinding tangki berdasarkan cairan yang direncanakan (mm)

t_t : tebal dinding tangki berdasarkan *hidrostatik test* (mm)

D : diameter nominal (m)

H : tinggi tangki (m)

G : massa jenis cairan (kg/m³)

C_A : *corrosion allowance* (mm)

S_d : tekanan yang diijinkan untuk kondisi desain (Mpa)

S_t : tekanan yang diijinkan untuk kondisi *hydrostatic* (Mpa)

Perhitungan tebal dinding (*shell*) berdasarkan cairan yang ditampung, dihitung menggunakan persamaan (1).

$$1^{st} \text{ course : } t_1 = \frac{4,9D(H-0,3)G}{ExSd} + CA = \frac{4,9 \times 10 \times (9,125-0,3) \times 1}{0,85 \times 160} + 3 = 6,18 \text{ mm.}$$

1st shell course yang dipakai adalah 7 mm.

$$2^{nd} \text{ course : } H - H_1 = 9,125 - 1,66 = 7,46 \text{ m}$$

$$2^{st} \text{ course : } t_2 = \frac{4,9D(H-0,3)G}{ExSd} + CA = \frac{4,9 \times 10 \times (7,46-0,3) \times 1}{0,85 \times 160} + 3 = 5,58 \text{ mm.}$$

2nd shell course yang dipakai adalah 6 mm.

$$3^{rd} \text{ course : } H - H_1 - H_2 = 9,125 - 1,66 - 1,66 = 5,8 \text{ m}$$

$$3^{rd} \text{ course : } t_3 = \frac{4,9D(H-0,3)G}{ExSd} + CA = \frac{4,9 \times 10 \times (5,8-0,3) \times 1}{0,85 \times 160} + 3 = 4,98 \text{ mm.}$$

3rd shell course yang dipakai adalah 5 mm.

$$4^{th} \text{ course : } H - H_1 - H_2 - H_3 = 9,125 - 1,66 - 1,66 - 1,66 = 4,15 \text{ m.}$$

$$4^{th} \text{ course : } t_4 = \frac{4,9D(H-0,3)G}{ExSd} + CA = \frac{4,9 \times 10 \times (4,15-0,3) \times 1}{0,85 \times 160} + 3 = 4,39 \text{ mm.}$$

4th shell course yang dipakai adalah 5 mm.

Perhitungan tebal dinding berdasarkan *hydrotest* dihitung dengan persamaan (2).

$$1^{st} \text{ course : } t_1 = \frac{4,9D(H-0,3)}{St} = \frac{4,9 \times 10 \times (9,125-0,3)}{171} = 2,53 \text{ mm.}$$

1st shell course yang dipakai adalah 7 mm.

$$2^{nd} \text{ course : } t_2 = \frac{4,9D(H-0,3)}{St} = \frac{4,9 \times 10 \times ((9,125-1,66)-0,3)}{171} = 2,05 \text{ mm.}$$

2nd shell course yang dipakai adalah 6 mm.

$$3^{rd} \text{ course : } t_3 = \frac{4,9D(H-0,3)}{E \times St} = \frac{4,9 \times 10 \times ((9,125-1,66-1,66)-0,3)}{171} = 1,6 \text{ mm.}$$

3rd shell course yang dipakai adalah 5 mm.

$$4^{th} \text{ course : } t_4 = \frac{4,9D(H-0,3)}{E \times St} = \frac{4,9 \times 10 \times ((9,125-1,66-1,66-1,66)-0,3)}{171} = 1,1 \text{ mm.}$$

4th shell course yang dipakai adalah 5 mm.

Dari hasil kedua perhitungan di atas, diketahui tebal plat yang akan digunakan yaitu:

$$1^{st} \text{ course, } t_1 = 7 \text{ mm}$$

$$2^{nd} \text{ course, } t_2 = 6 \text{ mm}$$

$$3^{rd} \text{ course, } t_3 = 5 \text{ mm}$$

$$4^{th} \text{ course, } t_4 = 5 \text{ mm}$$

Perhitungan top angle

Diameter tangki yang direncanakan sebesar 10 m (kurang dari 11 m), oleh karena itu digunakan profil siku untuk *top angle* (tidak kurang dari 50 x 50 x 5 mm) sesuai dengan yang disyaratkan dalam API Std 650 Pasal 5.1.5.9.e, dimana yang dipilih berat siku siku L 50 x 50 x 5 mm dengan panjang 6 m adalah 22,50 kg.

$$\begin{aligned} \text{Berat top angle} &= \text{keliling} / 6.000 \times \text{berat top angle per unit} & (3) \\ &= 22.922 / 6000 \times 22,50 \\ &= 85,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Perhitungan ketebalan pelat dasar tangki (*bottom and annular plate*)

Tebal minimum *bottom plate* direncanakan 6 mm sesuai API 650 5.4.1. Sedangkan tebal minimum *annular plate* ditentukan menggunakan API std 650 Tabel 3.1 dengan dua parameter yang harus diketahui [5], yaitu:

(a) tebal *shell course* yang pertama, $t_1 = 7 \text{ mm}$, dan

(b) *hydrostatic test stress* pada *shell course* pertama = $\frac{4,9D(H-0,3)}{St} = \frac{4,9 \times 10 \times (9,125-0,3)}{171} = 2,53$ mm

Dari dua parameter di atas, diambil nilai terbesar sehingga *1st shell course* yang dipakai adalah 7 mm.

Dari Tabel 2.1 didapat $t_b = 7$ mm, maka

$$\begin{aligned} t_b &= 7 \text{ mm} \\ \frac{C_A}{t_b \text{ min}} &= 3 \text{ mm} + \\ t_b \text{ min} &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi tebal minimum *bottom* dan *annular plate* yang digunakan adalah 10 mm.

O_D (diameter luar). = $O_{D\text{bottom}} = O_{D\text{annular plate}} = 10.050$ mm.

R_b (*Radius of bottom*) = 5.025 mm.

Bottom plate slope $\lambda = 0,48^\circ$.

Estimasi berat *bottom plate* (W_b):

$$\begin{aligned} W_b &= \pi \times R_b^2 \times t \times p : \cos 0,48 & (4) \\ &= 3,14 \times 5.025^2 \times 10 \times 10.550 : \cos 0,48 \\ &= 8365,09 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan *intermediate wind girder*

Mencari tinggi maximum dari *unstiffener shell*, H_1 dengan *tuniform = top course*, dimana tebal minimal *shell* yaitu 7 mm sesuai dengan yang disyaratkan API Std 650 Pasal 5.9.7.1 sebagai berikut:

$$H_1 = 9,47t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \left(\frac{190}{V}\right)^2} \quad (5)$$

$$H_1 = 9,47t \sqrt{\left(\frac{7}{10}\right)^3 \left(\frac{190}{190}\right)^2}$$

$$H_1 = 9,47 \times 7 \times 0,585 \times 1 = 38,779 \text{ m}$$

$$H_1 = 38.779 \text{ mm}$$

Pemeriksaan perlu atau tidaknya menggunakan *intermediate wind girder* menggunakan hasil perhitungan tinggi dari *transformed shell* (diperlihatkan dalam tabel 1).

$$W_{tr} = W \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5} \quad (6)$$

$$H_E = \Sigma W_{tr} \quad (7)$$

Tabel 1. Perhitungan tinggi *transformed shell*

<i>Shell plate course</i>	W (mm)	$T_{uniform}$	T_{actual}	H_E (mm)
<i>1st</i>	1.660	4	7	407
<i>2nd</i>	1.660	4	6	602
<i>3rd</i>	1.660	4	5	950
<i>4th</i>	1.660	4	5	950
<i>Total</i>				2.909

$$\Sigma W_{tr} = 2.909 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat nilai $H_E = 2.909 \text{ mm} < H_1 = 38.779 \text{ mm}$, maka tidak diwajibkan memasang *intermediate wind girder*.

Perhitungan atap (*roof*)

Tipe atap yang digunakan yaitu *supported cone roof* yang terdiri dari pelat atap, *rafter* dan kolom. Diketahui *slope* atap 1: 12 (maka sudut kemiringan = $4,76^\circ$), dan *corrosion allowance* untuk pelat atap sebesar 3,0 mm.

Tebal *roof* = 6 mm

$$R = 5.000 \text{ mm}$$

$$\theta = 4,76^\circ$$

Maka,

$$R_{dev} = R : \cos \theta \quad (8)$$

$$R_{dev} = 5.000 : \cos 4,76 = 5.017 \text{ mm}$$

$$D_{dev} = 2.R_{dev} \quad (9)$$

$$D_{dev} = 2 \times 5.017 = 10.034 \text{ mm}$$

$$C_r = 2 \pi r \quad (10)$$

$$C_r = 2 \times 3,14 \times 5.000 \text{ mm} = 31.400 \text{ mm}$$

$$\beta = 2 \times C_r : D_{dev} \quad (11)$$

$$\beta = 2 \times 31.400 : 10.034 = 6,26 \text{ rad (358}^\circ\text{)}$$

$$Y = 360 - \beta \quad (12)$$

$$Y = 360 - 358 = 2^\circ$$

$$A = (\beta : 360) \times \Pi : 4 \times D_{dev}^2 \quad (13)$$

$$A = (358 : 360) \times 3.14 : 4 \times 10.034^2$$

$$A = 78.244.360 \text{ mm}^2 \sim 78.244 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat atap, } W_r = A \times t \times \rho \quad (14)$$

$$W_r = 78.244 \times 6 \times 10,550$$

$$W_r = 4.952 \text{ kg}$$

(massa jenis plat A36 $\rho = 10.550 \text{ kg/m}^3$)

Berat dari bahan las, $W_{weld} = 2\% \times W_r = 0,02 \times 4.952 = 99,04 \text{ kg}$

Total berat atap = $W_r + W_{weld} = 4.952 + 99,04 = 5.051,04 \text{ kg}$

Perhitungan stabilitas terhadap beban angin

Kecepatan angin pada lokasi dimana tangki ditempatkan akan mempengaruhi stabilitas tangki. Beban angin berdasarkan kecepatan angin $v = 120 \text{ mil/jam}$ menurut API Std 650 paragraf 5.2.1, adalah sebagai berikut.

Beban angin

$P_s = 0,86 \text{ kpa} = 88 \text{ kg/m}^2 = 880 \text{ N/m}^2$ untuk permukaan silinder

$P_c = 1,44 \text{ kpa} = 73 \text{ kg/m}^2 = 730 \text{ N/m}^2$ untuk permukaan kerucut

Design wind pressure

Untuk silinder $P_{ds} = F_x P_s = 0,16 \times 880 = 140,80 \text{ N/m}^2 = 14,08 \text{ kg/m}^2$

Untuk kerucut $P_{dc} = F_x P_c = 0,16 \times 730 = 116,80 \text{ N/m}^2 = 11,68 \text{ kg/m}^2$

Diketahui: $H_T = 9.125 \text{ mm}$

$O_D = 10.000 \text{ mm}$

$H_r = 158 \text{ mm}$

Perhitungan luas penampang yang terkena angin (A)

a. Pada *shell*

$$A_s = O_D \times H_s = 10.000 \times 9,125 = 91.250 \text{ mm}^2 = 91,25 \text{ m}^2$$

b. Pada atap

$$A_r = O_D \times H_r : 2 = 10.000 \times 0,158 : 2 = 790 \text{ mm}^2 = 0,79 \text{ m}^2$$

Perhitungan besar beban angin (F_w)

a. Pada *shell*

$$F_s = P_{dc} \times A_s = 14,08 \times 91,25 = 1.284,8 \text{ kg/m}^2$$

b. Pada atap

$$F_r = P_{dc} \times A_r = 11,68 \times 0,79 = 9,23 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga, $F_w = F_s + F_r = 1.284,8 + 9,23 = 1.294,03 \text{ kg/m}^2$

Dari dua perhitungan di atas, diambil momen terbesar yaitu:

$$M_{max} = (F_w \times H_T) + F_r (H_T + H_r : 3) \quad (15)$$

$$M_{max} = (1.294,03 \times 9,125) + 9,23 (9,125 + 0,15 : 3)$$

$$M_{max} = 11.808,02 + 84,68$$

$$M_{\max} = 11.892,7 \text{ kg/m}^2$$

Kontrol stabilitas guling akibat beban angin:

$$W_{\text{shell}} = 6.870,2 \text{ kg}$$

$$W_{\text{roof}} = 4.952 \text{ kg}$$

$$W_{\text{top angle}} = 85,5 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi, } W_t = W_{\text{shell}} + W_{\text{roof}} + W_{\text{top angle}}$$

$$W_t = 6.870,2 + 4.952 + 85,5$$

$$W_t = 11.907,7 \text{ kg/m}^2$$

(16)

Momen tahanan dicari sebagai berikut:

$$\text{Syarat aman jika } M_{\max} \leq \frac{2}{3} \left(\frac{W D}{2} \right)$$

$$M_{\max} \leq \frac{2}{3} \left(\frac{11.907,7 \times 10}{2} \right)$$

$$11.907,7 \text{ kg/m}^2 \leq 39.692,3 \text{ kg/m}^2$$

(17)

Karena nilai $M_{\max} < M_{\text{guling}}$, maka tangki aman terhadap guling dan tidak perlu diangker.

Perhitungan stabilitas terhadap beban gempa

1. terhadap momen guling (*overtuning moment*)

Koefisien zona gempa: 2, dari tabel didapatkan $Z = 0,08$ [6]

Importance factory, $I = 1$

Lateral force coefficient, $C_1 = 12$

Keterangan:

$$H = 9.125 \text{ mm}$$

$$O_D = 10.000 \text{ mm}$$

$$e = 4,76^0$$

$$T_b = 7 \text{ mm}$$

$$W_s \text{ (berat shell)} = 6.870,2 \text{ kg}$$

$$W_r \text{ (berat roof)} = 4.952 \text{ kg}$$

$$\text{Faktor D : H} = 10 : 9,125 = 1,09$$

Dengan menggunakan API Std 650 gambar 2.8 didapatkan nilai $k = 0,578$, maka *natural periode first sloshing*, T dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = k (D^{0,5})$$

(18)

$$T = 1,81 \times 0,578 \times (10^{0,5}) = 5,23 \text{ detik}$$

Untuk nilai S diambil sebesar 1,5 dapat dilihat dalam Tabel E-2 dimana tipe tanah belum diketahui.

$$\text{Apabila: } T \leq 4,5 \text{ maka } C_1 = \frac{0,75S}{T} = \frac{0,75 \times 1,5}{5,23} = 0,22$$

$$T \leq 4,5 \text{ maka } C_2 = \frac{3,375S}{T^2} = \frac{3,375 \times 1,5}{5,23^2} = 0,18$$

Untuk menentukan nilai $W_1 X_1$ dan $W_2 X_2$, dapat menggunakan API Std 650 gambar 2.8 dan gambar 2.9 dimana nilai $D/H = 1,09$ dan $W_t = \pi : 4 (D^2) \times H_L \times p \times G$

$$3,14 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times 9,125 \times 1.000 \times 1 = 716.312,5 \text{ kg}$$

$$\frac{W_1}{W_t} = 0,79 = W_1 = 716.312,5 \times 0,79 = 565.886,87 \text{ kg}$$

$$\frac{W_2}{W_t} = 0,216 = W_2 = 716.312,5 \times 0,216 = 154.723,5 \text{ kg}$$

$$\frac{X_1}{H} = 0,22 = X_1 = 0,22 \times 9,125 = 2,01 \text{ m}$$

$$\frac{X_2}{H} = 0,18 = X_2 = 0,18 \times 9,125 = 1,64 \text{ m}$$

Dengan menggunakan persamaan (19) dapat dihitung momen guling akibat gaya gempa pada bagian bawah dinding pelat sebagai berikut:

$$M = Z I (C_1 W_s X_s + C_1 W_r X_t + C_1 W_1 X_1 + C_2 W_2 X_2) \quad (19)$$

$$M = 0,08 \times 1,0 \times (0,22 \times 6.870,2 \times 3,4 + 0,22 \times 4.952 \times 9,125 + 0,22 \times 565.886,87 \times 2,01 + 0,18 \times 154.723,5 \times 1,64)$$

$$M = 0,08 \times (5.138,9 + 9.941,14 + 250.235,17 + 45.674,38)$$

$$M = 0,08 \times 310.989,59$$

$$M = 24.879,17 \text{ kgm} = 243.981,31 \text{ Nm}$$

1. Tahanan terhadap guling

Tebal *bottom plate* = 10 mm

Minimum yield strength (F_{by}) = 36.000 PSI (248 Mpa)

Spesific gravity cairan (G) = 1 ton/m³

Tinggi tangki (H_i) = 9,125 m

$$\begin{aligned} \text{Batas dari berat cairan yang digunakan untuk menahan uplift} &= 196\text{GHD} \\ &= 196 \times 1 \times 9,125 \times 10 \\ &= 17.885 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Berat isi tangki untuk menahan guling

$$W_L = 99t_b \sqrt{F_{by} GH} < 196 \text{ GHD} \quad (20)$$

$$W_L = 99 \times 10 \times \sqrt{248 \times 1 \times 9,125} < 196 \text{ GHD}$$

$$47.094,3 \text{ N/m} = 4.802,3 \text{ kg/m}$$

$$4.802,3 \text{ kg/m} < 17.885 \text{ kg/m} \quad (\text{OK})$$

3. Tekanan dinding (*shell compression*)

$$W_t = \frac{W_t + W_r}{\pi \times D} = \frac{5.675 + 1.970}{3,14 \times 7,3} = 376,5 \text{ kg/m}$$

$$\text{Maka, } b = 376,5 + \frac{1,273 \times 24.879,17}{10^2}$$

$$b = 376,5 + \frac{31.671,18}{100}$$

$$b = 693,21 \text{ kg/m}$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan mengenai perencanaan tangki penyimpanan *make up water* dengan kapasitas 500 kl sesuai dengan API standard 650, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya adalah:

1. Sangat penting peran *make up water storage tank* untuk menjaga kualitas dan kuantitas bahan baku unit pembangkit listrik.
2. Semakin tinggi kualitas sebuah tangki pelat baja maka semakin banyak material pelat yang dibutuhkan.
3. Material yang digunakan dalam perencanaan ini adalah ASTM A36M/A36 yang direkomendasikan API standard 650, baja ASTM A36 mempunyai kekuatan tinggi dan keuletan yang baik sehingga cocok untuk dilakukan pembentukan. Selain itu hal yang menjadi pertimbangan adalah karena keberadaan material tersebut di pasaran dalam negeri.
4. Dari perhitungan didapat tebal minimum pelat dinding (*shell*) sebagai berikut:

1st course, $t_1 = 7 \text{ mm}$

2nd course, $t_2 = 6 \text{ mm}$

3rd course, $t_3 = 5 \text{ mm}$

4th course, $t_4 = 5 \text{ mm}$

Tebal minimum *bottom* dan *annular plate* yang digunakan adalah 10 mm.

Referensi

- [1] A. B. Winarno, B. Prasajo, and M. M. E. Prayitno, "DESAIN DAN PEMODELAN PADA STORAGE TANK KAPASITAS 50.000 kL (STUDI KASUS PT. PERTAMINA REGION V TBBM TUBAN)," in *Proceedings Conference on Piping Engineering and its Application*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 47-50.
- [2] S. Pullarcot, *Above ground storage tanks: practical guide to construction, inspection, and testing*. CRC Press, 2019.
- [3] R. V. J. A. P. I. McGrath, "Stability of API standard 650 tank shells," vol. 3, pp. 458-469, 1963.

- [4] M. H. Jawad and J. R. Farr, *Structural analysis and design of process equipment*. John Wiley & Sons, 2018.
- [5] R. Greiner and R. Ofner, "Large Cylindrical Flat-bottom Storage Tanks-Design Calculations for Seismic Effects," in *Design, Inspection, Maintenance and Operation of Cylindrical Steel Tanks and Pipelines*: . 2003, pp. 116-121.
- [6] F. J. J. o. C. s. r. Hamdan, "Seismic behaviour of cylindrical steel liquid storage tanks," vol. 53, no. 3, pp. 307-333, 2000.