

PERANCANGAN SERVICE WATER TANK TIPE FIXED CONE ROOF BERBAHAN BAJA ASTM A36 DI WILAYAH PESISIR TUBAN BERDASARKAN STANDAR API 650

Daffa Nagata Nayottama¹, Mohammad Miftachul Munir^{2*}, Rizal Indrawan¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik
 Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: m.munir@ppns.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada perancangan *service water tank tipe fixed cone roof* yang dibuat dari baja ASTM A36 dengan kapasitas penyimpanan 318 kL berdasarkan standar API 650. Tujuan utama penelitian ini adalah menentukan ketebalan pelat *shell*, *bottom*, dan *roof* yang sesuai dengan persyaratan minimum API 650 guna menjamin keselamatan struktur, keandalan, serta kinerja jangka panjang tangki. Perhitungan ketebalan dilakukan menggunakan metode *one-foot* yang memperhitungkan tekanan hidrostatik fluida, tegangan luluh material, serta *corrosion allowance*. Baja ASTM A36 dipilih karena memiliki tegangan luluh minimum 250 MPa, sifat las yang baik, kemudahan dalam proses fabrikasi, serta ketahanan terhadap korosi apabila dilapisi pelindung. Hasil rancangan menunjukkan bahwa ketebalan pelat *shell* adalah 6 mm, pelat dasar (*bottom plate*) 8 mm, dan pelat atap (*roof plate*) 8 mm, dengan seluruh dimensi memenuhi ketentuan minimum API 650. Pemilihan ukuran tersebut juga mempertimbangkan ketersediaan material di pasaran serta aspek praktis dalam proses manufaktur. Selain menekankan pada aspek desain struktural, penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya efisiensi penggunaan material dan efektivitas biaya pada proyek industri. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan teknis yang bermanfaat bagi para insinyur maupun praktisi dalam pembangunan tangki air industri, khususnya di wilayah pesisir yang memiliki kelembapan tinggi, beban angin, serta risiko korosi yang besar, sehingga keandalan dan ketahanan jangka panjang tangki dapat terjaga untuk mendukung keberlanjutan operasional.

Kata kunci: API 650, ASTM A36, *fixed cone roof*, ketebalan pelat, perancangan tangki

Abstract

This research presents the design of a vertical cylindrical service water tank with a fixed cone roof, constructed from ASTM A36 steel, located in the coastal area of Tuban, with a total capacity of 318 kL, and designed according to API 650 standards. The objective is to determine the thicknesses of the shell, bottom, and roof plates that ensure structural integrity, operational safety, and compliance with API 650 minimum requirements. Thickness calculations were carried out using the one-foot method, considering hydrostatic pressure, yield strength of the material, and a corrosion allowance of 2 mm. ASTM A36 was selected because of its minimum yield strength of 250 MPa, good weldability, and corrosion resistance when coated. Results showed that the calculated shell thickness ranged from 2.39 to 3.66 mm, but since these values are below the API 650 minimum of 4.78 mm, a commercial thickness of 6 mm was selected for all courses. The bottom plate was determined to be 8 mm, while the roof plate was also 8 mm, based on API requirements and market availability. A wind stability analysis was conducted using API 650 Annex provisions with a design wind speed of 11.11 m/s. The overturning moment from wind loads was smaller than the resisting moment, indicating the tank is stable without additional anchorage. This design is

expected to serve as a reliable technical reference for constructing industrial water tanks in coastal environments with high humidity, wind exposure, and significant corrosion risks.

Keywords: API 650, ASTM A36, fixed cone roof, plate thickness, tank design

PENDAHULUAN

Dalam industri petrokimia, *service water tank* memiliki peranan penting untuk mendukung proses seperti pendinginan peralatan, suplai air untuk kebutuhan operasional, serta keperluan lainnya (Akbar et al., 2019). Penelitian ini berfokus pada perancangan tangki silinder vertikal berkapasitas 318 kL yang mampu menahan tekanan fluida serta beban angin, terutama di wilayah pesisir seperti Tuban yang berpotensi memiliki kecepatan angin tinggi, jika ketebalan material dan desain struktural tidak optimal, tekanan hidrostatik dari air serta gaya lateral akibat angin dapat menyebabkan deformasi, ketidakstabilan struktural, atau bahkan kegagalan desain. Oleh karena itu, tangki harus dirancang dengan mempertimbangkan kedua faktor tersebut untuk menjamin keamanan dan keandalan operasional.

Untuk mendukung stabilitas dan perlindungan tangki terhadap faktor lingkungan, desain ini menggunakan atap *fixed cone roof*, sesuai dengan standar API 650. Atap berbentuk *fixed cone roof* ini juga memiliki keuntungan dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan cairan dengan tetap menjaga kontrol tekanan yang lebih baik serta meminimalkan risiko kebocoran (Sucofindo, 2024). Dalam penelitian ini, baja ASTM A36 dipilih karena sifat mekanisnya yang unggul, termasuk kekuatan tarik tinggi dan ketahanan terhadap korosi (Baihaqi et al., 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain *service water tank* yang memenuhi standar API 650, dengan pendekatan yang mempertimbangkan kondisi lingkungan khususnya di wilayah pesisir Tuban.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) Tangki Air Tipe *Fixed Cone Roof*

Tangki air tipe *fixed cone roof* adalah tangki silinder vertikal dengan atap kerucut tetap yang digunakan untuk menyimpan fluida pada tekanan internal rendah. Struktur utamanya terdiri dari pelat dasar (*bottom plate*), dinding silinder (*shell*), dan atap (*roof*). Keunggulan tipe ini adalah konstruksinya sederhana, proses fabrikasi relatif cepat, dan biaya perawatan yang rendah.

(B) Standar API 650

API 650 (*Welded Tanks for Oil Storage*) adalah standar internasional yang digunakan untuk merancang dan membangun tangki baja las. Standar ini mengatur ketebalan minimum pelat, spesifikasi material, metode pengelasan, dan inspeksi. Perhitungan ketebalan pelat *shell* menggunakan *one-foot method* dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{td = 4,9D(H-0,3)G}{S_2} + CA \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{tt = 4,9D(H-0,3)G}{S_t} + CA \dots \dots \dots (2)$$

Di mana:

td : tebal *shell design* (mm)

tt : tebal *shell hydrostatic test* (mm)

- H : *design liquid level* (mm)
 G : *design specific gravity liquid*
 CA : *corrosion allowance* (mm)
 Sd : *allowable stress* untuk kondisi *design* (MPa)
 St : *allowable stress* untuk kondisi *hydrotest* (MPa)

(C) Tekanan Hidrostatik

Beban ini dihasilkan oleh tekanan hidrostatik cairan di dalam tangki, yang meningkat seiring kedalaman cairan. Perhitungan tekanan hidrostatik menggunakan formula yang mempertimbangkan densitas fluida dan gravitasi, membantu menentukan ketebalan pelat tangki yang aman untuk menahan tekanan tanpa mengalami kegagalan struktural. Tekanan ini dihitung menggunakan Persamaan 3 berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (3)$$

Di mana:

- P : tekanan hidrostatik (Pa)
 ρ : densitas fluida (kg/m³)
 g : percepatan gravitasi (m/s²)
 h : kedalaman cairan (m)

(D) Tekanan Angin

Beban akibat angin terutama memengaruhi tangki yang ditempatkan di area terbuka. Perhitungan tekanan angin harus didasarkan pada kecepatan angin maksimum regional dan geometri tangki. Penggunaan *wind girder* sering disarankan untuk meningkatkan stabilitas terhadap tekanan angin (Baihaqi et al., 2020). Formula tekanan angin yang digunakan menurut standar API 650 pada 5.2.1 *point* (k) dijelaskan perhitungan beban angin pada desain menggunakan kecepatan angin pada area tersebut, tekanan angin tersebut sesuai dengan ASCE 7-05. Suatu tangki dikatakan stabil apabila memenuhi kondisi:

$$0.6 M_w + M_{pl} < \frac{MDL}{1.5} + M_{DLR} \dots\dots\dots (4)$$

$$M_w + F_p (M_2) < \frac{(M_{DL} + M_F)}{2} + M_{DLR} \dots\dots\dots (5)$$

$$M_{ws} + F_p (M_2) < \frac{(M_{DL} + M_F)}{2} + M_{DLR} \dots\dots\dots (6)$$

Di mana:

- M_w : *overturning moment* sambungan *shell-to-bottom* dari horizontal ditambah vertikal *wind pressure*
 $\left(F_{shell} \times \frac{H}{2}\right) + \left(F_{roof} \times \frac{D}{2}\right) \dots\dots\dots (7)$

Di mana:

- F_{shell} : *wind load on shell* ($P_{ws} \times A_{shell}$)
 F_{roof} : *wind load on roof* ($P_{wr} \times A_{roof}$)
 A_{shell} : *projection area of tank at shell* ($D \times H$)
 A_{roof} : *projection area of tank at roof* ($D \times H$)
 H : tinggi tangki (m)
 D : diameter tangki (m)
 M_{pi} : *moment sambungan shell-to-bottom* dari *design internal pressure*

$$\left(P_i \times \pi \times \frac{OD_2}{4} \right) \times \frac{D}{2} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana:

$$\begin{aligned} P_i &: \text{tinggi tangki (m)} \\ OD &: \text{diameter tangki (m)} \\ D &: \text{diameter tangki (m)} \\ M_{dl} &: \text{moment sambungan shell-to-bottom dari weight of shell} \\ W_{shell} \times \left(\frac{D}{2} \right) &\dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

Di mana:

$$\begin{aligned} W_{shell} &: \text{berat dari dinding (shell) tangki} \\ M_{DLR} &: \text{moment sambungan shell-to-bottom dari weight of roof plate} \\ W_{roof} \times \frac{D}{2} &\dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

Di mana:

$$\begin{aligned} W_{roof} &: \text{berat atap (roof) tangki} \\ F_p &: \text{pressure combination factor (API 650 para 5.2.2)} \\ 0,4 &\dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_f &: \text{moment sambungan shell-to-bottom dari liquid weight} \\ W_L \times \pi \times D \times \frac{D}{2} &\dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

Di mana:

$$\begin{aligned} W_L &: \text{berat cairan per satuan luas (N/m}^2 \text{ atau kN/m}^2 \text{)} \\ M_{ws} &: \text{overturning moment sambungan shell-to-bottom dari horizontal wind} \\ &\text{pressure} \\ P_{Ws} \times D \times \frac{H^2}{2} &\dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

Di mana:

$$P_{Ws} : \text{tekanan angin pada shell tangki (Pa atau kPa)}$$

(E) Material ASTM A36

Menurut Steel (2022) kemampuan mesin dan kemampuan las yang baik menjadi keunggulan lain dari pelat baja ini. Tingkat kemampuan mesin pelat baja ini kira-kira 72%, dan rata-rata umpan pemotongan permukaannya adalah 120 kaki per menit. Baja ASTM A36 adalah baja yang mudah dilas dan dapat dilas menggunakan segala jenis metode pengelasan.

METODE

(A) Jenis dan Sumber Data

Data primer: spesifikasi proyek (kapasitas 318 kL; D = 7,5 m; H = 7,2 m), spesifikasi material (ASTM A36, *yield* = 250 MPa), *corrosion allowance* = 2 mm, dan data kecepatan angin serta rencana dari lokasi. Data sekunder: teks dan tabel API 650, literatur teknis terkait, dan data pasar pelat baja komersial.

(B) Persiapan dan Setup Perhitungan

Tentukan pembagian *courses shell* sesuai tinggi dan standar fabrikasi. Tetapkan parameter tetap:

- (1) Massa jenis air ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)

(2) $G = 1,0$; $gravity = 9,81 \text{ m/s}^2$

(3) $CA = 2 \text{ mm}$

Siapkan tabel per-course untuk memasukkan *input* ketinggian efektif tiap *course*, hasil perhitungan tebal desain (td), tebal *hydrotest* (tt), dan nilai tabel minimum API 650.

(C) Perhitungan Ketebalan Shell, Bottom, dan Roof

Untuk setiap *course*: hitung tekanan hidrostatik pada titik referensi *course* (menggunakan data ketinggian), lalu hitung tebal desain per *one-foot method* (sebagaimana diatur API 650). Bandingkan hasil td/tt dengan ketentuan minimum API 650 untuk *course* tersebut. Pilih ketebalan komersial terdekat yang $\geq$ nilai yang disyaratkan (catat alasan pemilihan: ketersediaan pasar dan kemudahan fabrikasi). Catat hasil akhir per *course* pada tabel ringkasan (td, tt, $t_{\text{min_API}}$, t_{selected}). Untuk menentukan ketebalan *bottom* dan *roof* menggunakan ketentuan minimum pada API 650 kemudian menambahkan *corrosion allowance*.

(D) Stabilitas Terhadap Beban Angin

Ambil kecepatan angin rencana yang valid untuk lokasi (data lokal atau standar). Hitung tekanan angin rencana dan gaya angin pada *shell/roof* (proyeksi area). Hitung *overturning moment* (Mw) dan momen-momen penahan (*dead load moments*) sesuai prosedur API 650. Bandingkan hasil numerik terhadap kriteria API (2.6-2.8) untuk menilai stabilitas *unanchored*; catat hasil (memenuhi/tidak memenuhi) dan rekomendasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Ketebalan Pelat

Perhitungan ketebalan pelat *shell* dilakukan menggunakan *one-foot method* (API 650, 2018) dengan mempertimbangkan tekanan hidrostatik pada setiap *course*. Hasil menunjukkan bahwa ketebalan desain (td) berada pada rentang 2,39–3,66 mm, lebih kecil dari ketentuan minimum API 650 sebesar 4,78 mm. Oleh karena itu, dipilih ketebalan pelat komersial 6 mm untuk seluruh *course* demi memenuhi standar dan memudahkan proses fabrikasi.

Tabel 1. Penentuan Ketebalan Pelat Tiap *Course*

<i>Course</i>	Tinggi Fluida (m)	Td (mm)	Tt (mm)	T650 (mm)	Ketebalan Aktual (mm)
1	7,2	3,66	3,55	4,78	6
2	5,4	3,25	3,16	4,78	6
3	3,6	2,83	2,77	4,78	6
4	1,8	2,42	2,39	4,78	6

(1) Ketebalan Bottom Plate

Pada pelat yang akan dipasang di *bottom*, *thickness bottom* (Tb) tidak boleh kurang dari 6 mm. Hal ini berdasarkan pada API 650 para 5.4.1, yang menyatakan bahwa: “Ketebalan nominal minimum pelat dasar adalah 6,0 mm, tidak termasuk *corrosion allowance*.” Selanjutnya hasil dari *thickness bottom plate* ditambahkan dengan CA.

$$\begin{aligned}
 t_{\text{bottom}} &= 6 \text{ mm} + CA \\
 &= 6 \text{ mm} + 2 \text{ mm} \\
 &= 8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(2) Ketebalan *Roof Plate*

Ketebalan minimum atap ditentukan berdasarkan ketentuan standar API 650 pasal 5.10.3.1, yang menyatakan bahwa: ketebalan pelat atap tidak boleh kurang dari 5 mm, tidak termasuk *corrosion allowance*.

$$t_{roof} = 5 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 7 \text{ mm}$$

Setelah diperoleh nilai ketebalan minimum pelat atap sesuai standar, langkah selanjutnya adalah menentukan ketebalan aktual yang tersedia di pasaran. Karena ketebalan hasil perhitungan sebesar 7 mm (0,276 in) tidak tersedia secara umum dalam bentuk pelat baja komersial, maka ketebalan tersebut dibulatkan ke ukuran standar terdekat yang lebih besar, yaitu 5/16 in (0,3125 in) atau sekitar 8 mm.

(B) Tekanan Hidrostatik

Tekanan maksimum pada dasar tangki akibat fluida air adalah:

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 1000 \times 9,81 \times 7,2 \approx 70,6 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Nilai ini digunakan untuk menentukan ketebalan *course* terbawah dan menjadi acuan dalam pemilihan ketebalan keseluruhan.

(C) Evaluasi Terhadap Tekanan Angin

Berikut adalah Tabel 2, data desain yang digunakan untuk perhitungan stabilitas terhadap beban angin pada tangki yang digunakan dalam studi ini.

(1) Data Desain Tangki

Tabel 2. Data Desain Tangki

Parameter	Nilai
Diameter tangki (D)	7,5 m
Tinggi cairan (H)	7,2 m
Kecepatan angin (V)	11,11 m/s
Berat jenis air (ρ)	9810 N/m^3
Berat jenis baja ASTM A36	78.500 N/m^3
Tebal pelat <i>shell</i>	6 mm

(2) Perhitungan Faktor Kecepatan dan Tekanan Angin

a. Velocity factor (API 650 5.2.1.k)

$$V = \frac{11,11 \text{ m}}{s} \rightarrow V = 11,11 \times 2,237 = 24,88 \text{ mph}$$

$$Vf = \left(\frac{24,88}{120} \right)^2 = (0,2073)^2 = 0,043$$

(1 m/s = 2,237 mph untuk konversi ke standar API)

b. Tekanan angin

Tekanan angin pada *shell* (P_{ws}): (API 650 para 5.2.1.k)

$$P_{ws} = 18 \cdot Vf = 18 \cdot 0,0493 = 0,774 \text{ lb/ft}^2 = 37,06 \text{ pa}$$

Tekanan angin pada *shell* (P_{ws}): (API 650 para 5.2.1.k)

$$P_{wr} = 30 \cdot Vf = 30 \cdot 0,043 = 1,29 \text{ lb/ft}^2 = 61,76 \text{ pa}$$

(3) Luas Proyeksi Gaya Angin

a. Luas proyeksi *shell*:

$$A_{shell} = D \cdot H = 7,5 \cdot 7,2 = 54 \text{ m}^2$$

- b. Luas proyeksi atap:

$$A_{roof} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 7,67^2 = 46,19 \text{ m}^2$$

- c. Gaya angin pada *shell*:

$$F_{shell} = P_{ws} \cdot A_{shell} = 37,07 \cdot 54 = 2.001,24 \text{ N}$$

- d. Gaya angin pada atap:

$$VF_{roof} = P_{wr} \cdot A_{roof} = 61,83 \cdot 46,19 = 2.855,93 \text{ N}$$

- (4) Momen Guling (*Overtuning Moment*)

$$M_w = \left(F_{shell} \cdot \frac{H}{2} \right) + \left(F_{roof} \cdot \frac{D}{2} \right)$$

$$M_w = (2.001,24 \cdot 3,6) + (2.855,93 \cdot 3,75) \\ = 7.204,41 + 10.709,74 = 17.914,15 \text{ Nm}$$

- (5) Momen Penahanan (*Resisting Moment*)

- a. Berat air dalam tangki:

$$V_{air} = \pi \cdot (3,75)^2 \cdot 7,2 = 317,9 \text{ m}^3$$

$$M_w = v \times \text{berat jenis}$$

$$317,9 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 317.900 \text{ kg} = 3.118.599 \text{ N}$$

- b. Berat *shell* dan atap:

$$W_{shell} + W_{roof} = 7.971,86 + 2.857,4$$

$$= 78.203,9 \text{ N} + 28.037,15 \text{ N}$$

$$= 106.241,05 \text{ N}$$

- c. Total berat:

$$W_{total} = 3.118.599 + 106.241,05 = 3.224.840,05 \text{ N}$$

- d. Momen penahan:

$$Mr = W_{total} \cdot \frac{D}{2} = 3.224.840,05 \cdot 3,75 = 12.093.264,6 \text{ Nm}$$

- (6) Perhitungan *Anchorage Ratio*

$$M_{DL} = W_{shell} \cdot \frac{D}{2} = 78.203,9 \cdot 3,75 = 293.264,6 \text{ Nm}$$

$$M_{DLR} = W_{roof} \cdot \frac{D}{2} = 28.037,15 \cdot 3,75 = 105.139,3 \text{ Nm}$$

Requirement unanchorage tanks:

$$0,6M_w + 0M_{pi} < \frac{MDL}{1,5} + M_{DLR}$$

Asumsi tekanan internal kecil $\rightarrow M_{pi} \approx 0$

$$0,6M_w + M_{pi} = 0,6 \cdot 17.914,15 + 0 = 10.748,5 \text{ Nm}$$

$$\frac{MDL}{1,5} + M_{DLR} = \frac{293.264,6}{1,5} + 105.139,3 = 300.649 \text{ Nm}$$

Requirement unanchorage tanks:

$$10.748,5 \text{ N.m} < 300.649 \text{ Nm}$$

Berdasarkan evaluasi stabilitas tangki terhadap beban angin dengan kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s), diperoleh momen guling akibat angin sebesar 17.914,15 Nm. Setelah dikalikan faktor koreksi sesuai API 650 yaitu 0,6, didapat nilai 10.748,5 Nm. Sementara itu, momen penahan struktur yang dihitung dari berat tangki dan fluida adalah sebesar 12.094.897,6 Nm, yang setelah dikoreksi menjadi 300.649,03 Nm. Karena nilai momen guling yang terfaktor masih lebih kecil dari momen penahan, maka struktur tangki

dinyatakan aman terhadap beban angin dan tidak memerlukan sistem *anchoring* tambahan.

KESIMPULAN

Desain tangki berkapasitas 318 kL berhasil dirancang untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan air industri di wilayah pesisir Tuban. Tangki ini menggunakan bentuk silinder vertikal dengan atap *fixed cone roof* dan material baja ASTM A36, yang memiliki kekuatan mekanik memadai serta ketahanan terhadap korosi sesuai standar API 650. Perhitungan ketebalan pelat dilakukan berdasarkan pendekatan *one foot method* sesuai API 650, dengan hasil tebal pelat *shell* ditetapkan 6 mm untuk seluruh *course*, pelat dasar (*bottom*) 8 mm, dan pelat atap (*roof*) 8 mm, mempertimbangkan tekanan hidrostatik, *corrosion allowance*, serta evaluasi terhadap tekanan angin dinyatakan aman tanpa menggunakan *anchor*.

REFERENSI

- Akbar, I. F., Yudo, H., & Mulyatno, I. P. (2019). Analisis Kekuatan Tangki Penyimpanan Crude Oil 38T-104 Berbentuk Silinder dengan Tipe External Floating Roof pada PT Pertamina RU IV Cilacap. *Jurnal Teknik Perkapalan*. 8(1), 96-104.
- API 650. (2018). *API Standard 650: Welded Tanks for Oil Storage* (13th Edition).
- Baihaqi, R. A., Pratikno, H., & Hadiwidodo, Y. S. (2020). Analisis Sour Corrosion pada Baja ASTM A36 Akibat Pengaruh Asam Sulfat dengan Variasi Temperatur dan Waktu Perendaman di Lingkungan Laut. *Jurnal Teknik ITS*. 8(2), G237-G242.
- Steel, G. C. (2022). *Plat Baja ASTM A36*. <https://id.cortensteels.com/news/astm-a36-steel-plate-completely-specificatio-59312567.html>
- Sucofindo. (2024). *Manfaat Kalibrasi Tangki dan Jenis Tangki yang Perlu Dikalibrasi*.