

# Desain tangki timbun *external floating roof* kapasitas 75000 MT

Kevin Satria Nugraha, \*Muhamad Ari, Mochammad Karim Al Amin

Program Studi D4 Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 60111, Indonesia

\*Corresponding author: m.ari@ppns.ac.id

## Abstrak

Tangki timbun banyak digunakan pada industri terutama sebagai tempat penyimpanan hasil tambang minyak dan gas bumi. Berbagai macam tipe tangki timbun dibuat berdasarkan tekanan, jenis fluida yang disimpan dan tipe roof yang digunakan. *Roof* pada tangki timbun dibedakan menjadi *fixed roof*, *internal floating roof* dan *external floating roof*. *Floating roof* digunakan sebagai *barrier* antara fluida dan ruang kosong yang ada pada tangki sehingga meminimalisir terjadinya *vapor space* dan kemungkinan kebakaran pada tangki. Tujuan penelitian ini adalah merancang tangki timbun *external floating roof* untuk fluida *condensate* dengan kapasitas 75000 metrik ton. Proses perancangan *shell course* dan bagian lain dari tangki timbun ini berdasarkan standar API 650 edisi 12 *addendum* 2018 dengan menggunakan metode *variable design point*. Verifikasi hasil perhitungan yang dihasilkan secara manual dilakukan dengan *software* elemen hingga. Perhitungan manual pada konstruksi tangki timbun *external floating roof* mendapatkan tebal plat *shell* minimum yang digunakan adalah 10 mm. Untuk *bottom plate* didapatkan tebal 8 mm. Simulasi menggunakan *software* elemen hingga menghasilkan nilai tegangan maksimum pada *shell*, *shell to bottom*, dan *roof* berturut-turut yaitu 1,937 MPa, 7,122 MPa, 0,216 MPa. Semua tegangan yang terjadi masih di bawah tegangan *allowable* material. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konstruksi tangki masih aman.

**Kata Kunci:** Tangki timbun, *External floating roof tank*, API 650, *variable design point*, *Finite element method*

## Abstract

*Storage tanks are widely used in industry, especially as a storage area for oil and gas mining products. Various types of storage tanks are made based on the pressure, the type of fluid stored and the type of roof used. The roof on the storage tank is divided into a fixed roof, internal floating roof and external floating roof. Floating roof is used as a barrier between the fluid and the empty space in the tank so as to minimize the occurrence of vapor space and the possibility of a fire in the tank. This study discusses the design of an external floating roof storage tank for condensate fluid with a capacity of 75000 metric tons. The design process for the shell course and other parts of the stockpile tank is based on the API 650 standard 12 addendum 2018 edition using the variable design point method. Verification of the results of calculations generated manually is done with finite element software. Manual calculations for the construction of an external floating roof heap tank get the minimum shell plate thickness used is 10 mm. The bottom plate was found to be 8 mm thick. The simulation using finite element software produces the maximum stress values on the shell, shell to bottom, and roof, namely 1.937 MPa, 7,122 MPa, 0.216 MPa, respectively. All stresses that occur are still below the allowable stress of the material. So it can be concluded that the tank construction is still safe.*

**Keywords:** Storage tank, *External floating roof tank*, API 650, *variable design point*, *Finite element method*

## 1. Pendahuluan

PT. TPPI (Trans-Pacific Petrochemical Indotama) adalah perusahaan refinery yang mengolah kondensat sebagai bahan baku menjadi bahan jadi seperti pertalite, pertamax, produk aromatik, dan gas LPG (liquefied petroleum gas). Kondensat dari PT. TPPI didapatkan dari Australia bernama NWS (North West Shelf) kondensat. Dalam melakukan proses produksi tersebut, dibutuhkan suatu tangki timbun untuk menyimpan produk bahan baku dan produk jadi. Di PT. TPPI terdapat 5 tangki timbun yang digunakan untuk menyimpan kondensat.

PT. TPPI memiliki rencana jangka panjang yaitu menambah 3 berth baru, yaitu berth 2, berth 6 dan berth 7. Dimana, statistik rencana PT. TPPI jangka panjang yaitu dari tahun 2018–2037 mengalami kenaikan di permintaan bahan baku kondensat, dari 2.857.719,20 MT/tahun ke 6.839.218,90 MT/tahun[1]. Maka dibutuhkannya sebuah desain tangki baru untuk menunjang penambahan kapasitas kondensat. Tangki timbun yang ada pada PT. TPPI memiliki jenis *external floating roof*. Jenis *roof* ini dapat meminimalkan pengurangan produk akibat penguapan dibandingkan dengan tipe *fixed roof*. Tangki timbun memiliki

diameter 65.5 m yang akan di desain ulang menjadi tangki berdiameter 80 m [2].

Perencanaan pemodelan dan desain tangki timbun yang tepat, pastinya akan dapat mengurangi kegagalan dalam proses pembuatan dan konstruksinya[3]. Desain tangki timbun tentunya juga mengacu pada standard pembuatan yang telah ada, yaitu API 650. Dimana, terdapat desain ketebalan *shell, annular bottom, roof, wind girder*, dengan menggunakan *variable design methods*. Untuk design *external floating roof*, telah diatur pada API 650 annex C. Selain itu, juga memperhitungkan stabilitas tangki terhadap angin dan tekanan hidrostatik pada tangka[4]. Setelah pemodelan manual selesai, maka akan dilakukan pemodelan menggunakan software AMETANK. Tangki timbun hasil perancangan akan di analisis kekuatannya terhadap beban angin, dan tekanan hidrostatik yang terjadi pada tangki dengan menggunakan software Ansys[5][6].

Pemilihan tipe tangki timbun yang digunakan untuk menyimpan produk tertentu, utamanya ditentukan menurut keamanan, faktor lingkungan, dan biaya. Maka dari itu desain dan faktor keselamatan adalah hal terpenting dalam proses pembuatan suatu tangki timbun. Karena, bahaya kebakaran dan ledakan untuk tangki timbun dari tahun ke tahun meningkat dan menyebabkan korban luka maupun kematian[7].

Beberapa penelitian tentang tangki timbun ini telah dilakukan untuk mendapatkan kekuatan dan ketahanan desain tangki timbun serta faktor keamanannya[8][9][10] dan juga terdapat sejumlah permasalahan dan metode penyelesaiannya dalam mendesain tangki tersebut ketika menggunakan perhitungan manual menurut API 650, menggunakan API 650 annex C, software Ansys dan software lainnya.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini berupa desain tangki external floating roof kapasitas 98520 m<sup>3</sup>. Dimana dilakukan perhitungan tebal shell dengan metode *variable design point methode, tebal bottom plate, desain wind girder, perhitungan wind load*, desain *external floating roof* yang mengacu pada standar API 650 twelfth edition add 2018. Setelah dilakukan perhitungan dan desain, tangki dimodelkan dengan menggunakan software AMETANK 7.7 untuk mengetahui bentuk tangki yang telah didesain dalam bentuk 3 dimensi dan drawingnya[8]. Setelah dilakukan pemodelan tangki, hasil daripada desain tangki akan dimodelkan untuk mengetahui tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang terjadi dengan menggunakan software ANSYS 19.2[9]. Untuk jenis pembebanannya dan komponen yang dikenai beban, dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Jenis Pembebanan pada Tangki

No.	Komponen Tangki	Jenis Pembebanan
1	<i>Shell</i>	<i>Wind Load</i>
2	<i>Shell and Bottom</i>	<i>Hydrostatic Load</i>
3	<i>Roof Deck</i>	<i>Rain Fall Load</i>
4	<i>Support Leg Roof</i>	<i>Total Weight of Roof</i>

Dasar perhitungan desain tangka ini adalah data-data tangka sebagaimana tersaji pada table 2.

**Tabel 2.** Desain Data

No.	Data Tangki	Nilai
1	Diameter Tangki	80 m
2	Tinggi Tangki	20,71 m
3	<i>Specific Gravity Liquid</i>	0,766
4	Desain <i>max liquid</i>	19,6 m
5	<i>Shell Course Plate</i>	6 m x 2,9 m
6	<i>Corrosion Allowance</i>	1,5 mm
7	Jenis <i>Roof</i>	EFR <i>single deck</i>
	Normal <i>Capacity</i>	98520 m <sup>3</sup>
	Material	<i>Shell (A573 Gr70)</i>
		<i>Bottom (A36)</i>
		<i>Roof (A36)</i>
8	Sd untuk <i>shell</i>	193 MPa
9	St untuk <i>shell</i>	208 MPa

Setelah dilakukan pembebanan, hasil dari beban akan diverifikasi dengan *allowable stress material* masing-masing komponen tangki. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *safety factor* dari masing-masing komponen tangki.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan minimal thickness yang dibutuhkan didapatkan nilai sebagai berikut:

### 3.1. Hasil Perhitungan Minimal Thickness Pada Tangki

Untuk menghitung ketebalan shell setiap course dengan metode *variable design point*, dilihat pada API 650 paragraf 5.6.4. Didapatkan hasil perhitungan tebal shell course seperti yang ditunjukkan Tabel 3.

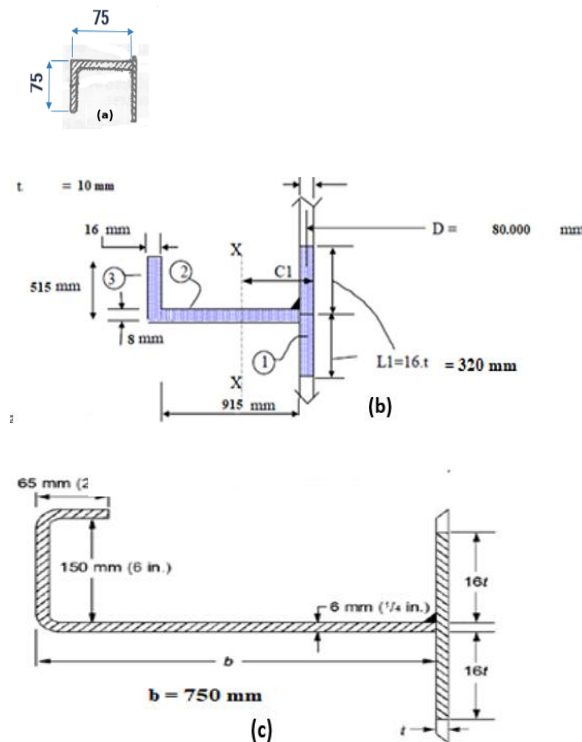
**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Tebal *Shell Course*

Shell Course	H (m)	tdx-CA (mm)	ttx (mm)	tmin (mm)	tused (mm)	material
1	19,6	30,319	35,933	35,933	36	A 573 Gr 70
2	16,641	25,616	29,708	29,708	30	A 573 Gr 70
3	13,682	20,393	23,637	23,637	24	A 573 Gr 70
4	10,723	16,153	18,303	18,303	19	A 573 Gr 70
5	7,764	11,941	12,975	12,975	13	A 573 Gr 70
6	4,805	7,777	7,773	7,777	10	A 573 Gr 70
7	1,846	4,238	2,716	4,238	10	A 573 Gr 70

Untuk mencari tebal minimum *bottom plate*, dilihat pada AP 650 paragraf 5.4.1 bahwa tebal minimal dari *bottom plate* adalah 6 mm. Sehingga untuk menghitung ketebalan minimum *bottom plate* harus ditambahkan *corrosion allowancenya*. Sehingga didapatkan ketebalan minimumnya sebesar 8 mm.

Untuk menghitung ketebalan *annular bottom plate*, pertama menghitung berapa produk *stress* dan *hydrostatic stress* pada course 1. Selanjutnya mencari nilai ketebalannya, dapat dilihat pada API 650 tabel 5.1a. ditemukan ketebalan *annular bottom plate* ditambah CA adalah 13 mm.

Untuk mencari desain dari pada *wind girder* dapat dilihat pada API 650 paragraf 5.9. didapatkan desain *wind girder* berupa *top curb angel*, *top wind girder*, dan *intermediate wind girder* seperti Gambar 1 dibawah ini.



**Gambar 1.** Desain *wind girder*, (a) *Top curb angle*, (b) *Top wind girder*, (c) *Intermediete wind girder*

### 3.2. Hasil Perhitungan Stabilitas Tangki Terhadap Beban Angin

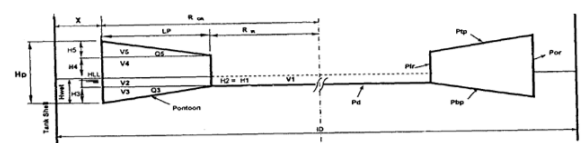
Dalam tahap pendesainan tangki, dilakukan pengecekan stabilitas tangki terhadap beban angin. Apakah tangki yang didesain nantinya membutuhkan *anchor bolt* apa tidak dalam menahan beban angin. Perhitungan stabilitas tangki terhadap beban angin diatur pada API 650 paragraf 5.11. dimana terdapat persyaratan apabila tangki yang telah didesain membutuhkan *anchor bolt* apa tidak. Di bawah ini adalah hasil perhitungan stabilitas tangki terhadap beban angin yang dijelaskan oleh API 650 paragraf 5.11.2.1.

- $0,6 M_W + M_{Pi} < M_{DL}/1,5 + M_{DLR}$   
 $0,6 \times 8056485950 + 0 < 324794501490 / 1,5 + 0$   
 $4833891570 < 216529667660$  ( OK )
- $M_W + F_P (M_{Pi}) < ( M_{DL} + M_F )/2 + M_{DLR}$   
 $8056485950 + 0 < (324794501490 + 269875375)/2 + 0$   
 $8056485950 < 162532188433$  ( OK )
- $M_{WS} + F_P (M_{Pi}) < M_{DL}/1,5 + M_{DLR}$   
 $8056485950 + 0 < 324794501490 / 1,5 + 0$   
 $8056485950 < 216529667660$  ( OK )

Dari ketiga kriteria diatas, maka tangki yang terkena beban angin tidak diperlukan *anchor bolt* untuk stabilitasnya.

### 3.3. Desain External Floating Roof

Tahap desain *external floating roof* telah di atur pada API 650 annex C. Dimana untuk desain *roof* dibagi menjadi 3, yaitu desain *roof deck*, *roof drain*, dan *support leg*. Pertama adalah desain *roof deck*, di atur pada API 650 annex C paragraf C.3.3.2. dimana tebal minimum yang diatur untuk *roof deck* adalah 4,8 mm. Desain *roof deck* dapat dilihat oleh Gambar 2 di bawah ini.



**Gambar 2.** Desain *roof deck*

- Dimana ketebalannya :
- Deck plate* (Pd) : 6,4 mm
  - Pontoon outer rim plate* (Por) : 10 mm
  - Pontoon inner rim plate* (Pir) : 12 mm
  - Pontoon top plate* (Ptp) : 4,8 mm
  - Pontoon bottom plate* (Ppb) : 6,3 mm

Tahap selanjutnya adalah desain *roof drain* yang berguna sebagai drainase air hujan dari pada *external floating roof*. Desain *roof drain* telah diatur persyaratannya pada API 650 annex C paragraf

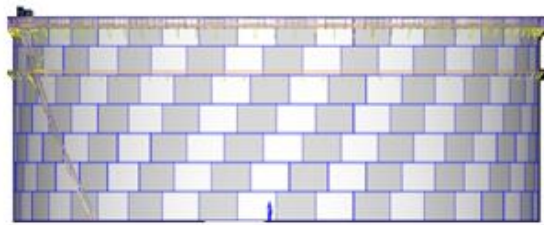
C.3.8.1 bahwa diameter minimal dari *roof drain* adalah 4 inci. Dari perhitungan desain, didapatkan bahwa diameter *roof drain* minimal yang mampu menahan air hujan adalah 2 inci. Maka dari itu untuk desain yang digunakan adalah *roof drain* dengan ukuran 4 inci.

Selanjutnya adalah desain *supporting leg* yang berguna menahan *roof* dari bersentuhan langsung dengan *bottom*. Desain *support leg* telah diatur persyaratannya pada API 650 annex C paragraf C.3.10.2 dimana *support leg* harus mampu menahan beban *roof* dan *uniform load* sebesar 1,2 kPa. Dari hasil desain dan perhitungan ditemukan *support leg* yang mampu menahan beban berjumlah 157 buah.

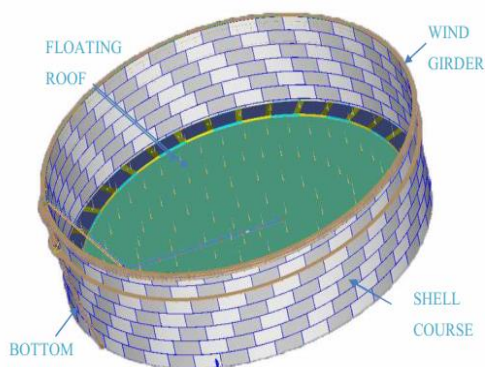
Setelah semua tahapan desain telah dilakukan, maka selanjutnya adalah mengecek nilai *bouyancy* yang dihasilkan dengan total berat yang terjadi pada *roof*. Didapatkan nilai *provided bouyancy* lebih besar dari pada *total weight roof*. Sehingga *external floating roof* dapat mengapung dengan sempurna diatas *liquid* yang disimpan.

### 3.4. Hasil Pemodelan AMETANK

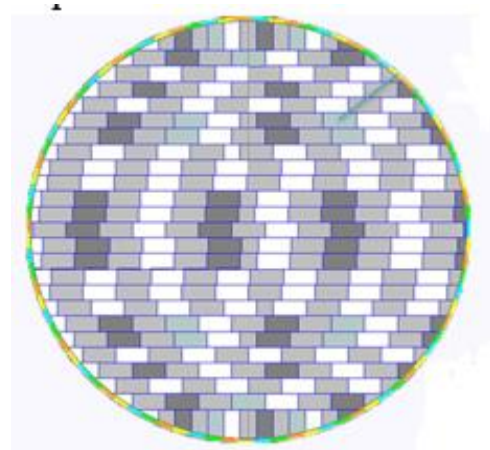
Pemodelan dengan menggunakan *software* AMETANK berguna untuk memverifikasi hasil perhitungan manual dan memodelkannya dalam bentuk 3D. Untuk hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



(a)



(b)

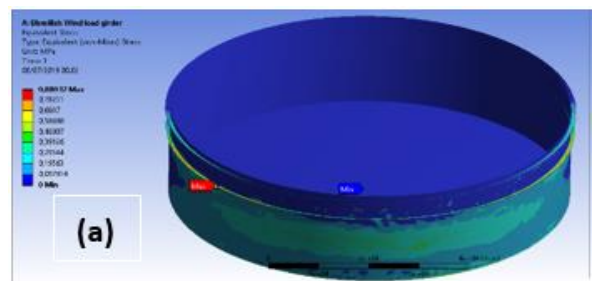


(c)

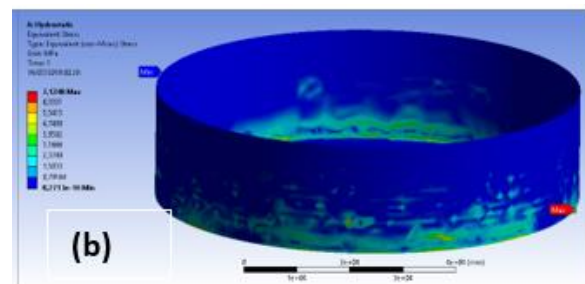
**Gambar 3.** Hasil pemodelan AMETANK, (1) Tampak depan, (2) Tampak atas, (3) Tampak bawah

### 3.5. Hasil Pemodelan ANSYS

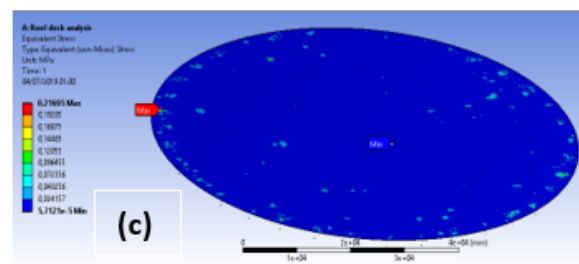
Pemodelan dengan menggunakan *software* ANSYS berguna untuk memverifikasi hasil desain tangki yang telah dilakukan terhadap beberapa model pembebanan dengan simulasi metode elemen hingga. Untuk hasil simulasi pembebanan dan lokasi tegangan maksimum dan minimum yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini



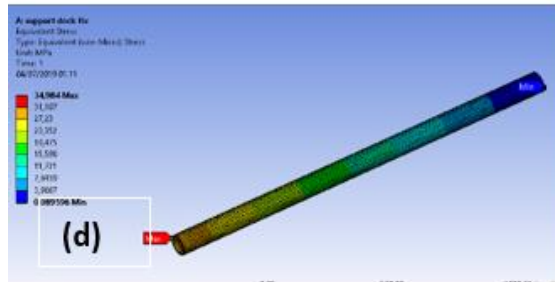
(a)



(b)



(c)



**Gambar 4.** Hasil simulasi pembebanan ANSYS, (a) *wind load*, (b) *hydrostatic load*, (c) *rainfall load*, (d) *total weight on roof*.

Pada simulasi dengan beban angin didapatkan nilai deformasi terbesar yang terjadi pada *course* keempat dengan nilai 0,073 mm. Sedangkan nilai maksimum *equivalent stress* yang terjadi pada *intermediate girder* sebesar 0,880 MPa.

Pada simulasi dengan beban hidrostatis, beban karena fluida yang ditampung dalam tangki berdasarkan tinggi *liquid level*, didapatkan nilai deformasi terbesar yang terjadi pada *shell course* terbawah dengan nilai 0,048 mm. Sedangkan nilai maksimum *equivalent stress* yang terjadi pada *shell course* terbawah sebesar 7,122 MPa.

Pada kedua simulasi tersebut diatas nilai tegangan yang terjadi dianggap masih aman karena jauh dibawah nilai *allowable stress* material sebesar 193 MPa dan tegangan yield material 290 MPa.

Dari hasil simulasi pembebanan *floating roof* akibat air hujan didapatkan nilai deformasi terbesar yang terjadi dengan nilai 0,006 mm. Di dapatkan pula nilai maksimum *equivalent stress* yang terjadi sebesar 0,216 MPa. Nilai tegangan tersebut dianggap masih aman karena jauh dibawah nilai *allowable stress* material sebesar 166,66 MPa dan tegangan yield material 250 MPa. Maka desain *floating roof* dalam menerima beban air hujan di anggap *sufficient*.

Dari hasil simulasi pembebanan pada *support leg* didapatkan nilai deformasi terbesar yang terjadi dengan nilai 0,135 mm. Didapatkan pula nilai maksimum *equivalent stress* yang terjadi sebesar 34,984 MPa. Pada API 650 paragraf 5.10.3 menyatakan bahwa *allowable stress* untuk *roof component* harus didapatkan dari perhitungan dengan AISC 360 dimana *allowable stress*-nya adalah 86,725 MPa. Sehingga nilai tegangan yang terjadi dianggap masih aman yaitu dibawah nilai *allowable stress*. Maka desain *support leg* dikatakan *sufficient*.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan serta analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Hasil simulasi dengan beban angin 778028,580 N pada *shell*. Didapatkan nilai tegangan maksimum pada *intermediate girder* sebesar 0,880 MPa. Begitu juga hasil simulasi dengan tekanan hidrostatis ditambah berat *roof* dan air hujan untuk mengetahui tegangan pada *shell* dan *bottom* pada saat tangki berisi fluida

berupa *condensate*. Didapatkan nilai tegangan maksimum 7,122 MPa, yang terjadi pada *shell course* paling bawah. Selain itu hasil dari analisa *storage tank* tersebut didapatkan nilai *safety factor* sebesar 27,099. Nilai ini lebih besar dari minimum *safety factor* yang diperbolehkan API 650 pada *hydrotest* yaitu 2,5. Hasil simulasi dengan beban air hujan 416556,849 N pada *floating roof*. Didapatkan nilai tegangan maksimum 0,216 MPa. Tegangan tersebut masih jauh di bawah *allowable stress of material* (A 36) sebesar 166,66 MPa dan yield stress 250 MPa. Maka desain aman dalam menerima beban air hujan. Hasil simulasi pada setiap *support leg* akibat beban *floating roof*, air hujan, dan *live load* sebesar 57471,938 N. Didapatkan nilai tegangan maksimum 34,984 MPa. Tegangan tersebut masih jauh di bawah *allowable stress* material (A 53 gr B) yang dihitung dengan rumus pada AISC 360 sebesar 86,875 MPa. Maka desain *support leg* aman dalam menerima beban yang terjadi.

#### Referensi

- [1] PT. TPPI, "Rencana Induk Terminal Khusus," Tuban, Jawa Timur, 2017
- [2] S. Pullarcot, "Above Ground Storage Tanks Practical Guide to Construction, Inspection, and Testing" US. Taylor & Francis Group, Florida, 2015
- [3] N. Nugraha, "Perilaku Nonlinier Pipa Elbow Bertekanan Yang Diberi Beban Termal Dan In-Plane Bending," 2018.
- [4] American Petroleum Institute, "API 650 Standart Welded Tanks for Oil Storage Tank (Vol. Twelfth)," API Publishing Service. Washington D.C., 2013
- [5] AMEtank reference manual, Technosoft inc, Cincinnati, 2014
- [6] U. Brawijaya, "Modul Training Ansys Workbench PT. BOMA BISMA INDRA", Pasuruan, 2014
- [7] S. Y. Kuan, "Design, construction and operation of the floating roof tank," *Research Project of University of Southern Queensland*, Australia, 2009
- [8] J. Fang, W. Huang, F. Huang, L. Fu, and G. Zhang, "Investigation of the Superposition Effect of Oil Vapor Leakage and Diffusion from External Floating-Roof Tanks Using CFD Numerical Simulations and Wind-Tunnel Experiments," *Processes*, vol. 8, no. 3, p. 299, 2020.
- [9] F. Lestari and W. Nurdiansyah, "Potensi Bahaya Kebakaran Dan Ledakan Pada Tangki Timbun Bahan Bakar Minyak (Bbm) Jenis Premium Di Depot X Tahun 2007," *MAKARA*, vol. 11, no. 2, pp. 59–64, 2007.
- [10] I. F. Akbar, H. Yudo, and I. P. Mulyatno, "Analisis Kekuatan Tangki Penyimpanan

Crude Oil 38T-104 Berbentuk Silinder dengan Tipe External Floating Roof pada PT Pertamina RU IV Cilacap,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 1, 2019.