

## Analisis Stabilitas *Olein Storage Tank* Kapasitas 450 kL Terhadap Angin dan Gempa serta Beban Fluida yang Ditampung

Nur Yanu Nugroho<sup>1\*</sup>, Renald Rahman Prabowo<sup>2\*</sup>, Budi Prasajo<sup>3</sup>, Dianita Wardani<sup>4</sup>

Teknik Perkapalan Universitas Hang Tuah Surabaya, Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1,2,3</sup>

Email: [nur.yanu@hangtuah.ac.id](mailto:nur.yanu@hangtuah.ac.id); [rrahman19@student.ppns.ac.id](mailto:rrahman19@student.ppns.ac.id); [budiprasajo@ppns.ac.id](mailto:budiprasajo@ppns.ac.id); [dianitawardani@ppns.ac.id](mailto:dianitawardani@ppns.ac.id)

**Abstract** – One of Company in Kalimantan plans to increase the capacity of palm oil with storage tanks 450 kL using A283 Gr C carbonsteel material. This analysis refers to the API 650 standard 13th edition, 2020 and SNI standard for some data and earthquake load calculations accompanied by modeling and calculation of the finite element method with Ansys software. For the calculation of the stability of the tank against the wind, the moment value obtained is 2,645,78 N.m less than 96,826,716.81 N.m and the calculation results of overtuning moment on seismic load, anchorage ratio criteria is less than 0.785, then the stable tank does not require mechanical anchorage. Simulation results using Ansys with a fluid load and pressure of 4.170.263.97 N and 16.901.4 Pa in the shell. The von mises value in the shell is 37.267 MPa. This stress is still far below the allowable stress of material (A 283 gr C) of 137 MPa and yield stress of 205 MPa. The largest deformation effect by the tank is 0.39 mm.

**Keywords:** Ansys, deformation, load, storage tank, von mises.

### Nomenclature

$M_w$	<i>overtuning moment</i> sambungan <i>shell-to-bottom</i> dari horizontal Ditambah vertical <i>wind pressure</i>
$M_{pi}$	moment sambungan <i>shell-to-bottom</i> dari <i>design internal pressure</i>
$M_{DL}$	moment sambungan <i>shell-to-bottom</i> dari <i>weight of shell</i>
$M_{DLR}$	moment sambungan <i>shell-to-bottom</i> dari <i>weight of roof plate</i>
$F_p$	<i>pressure combination factor</i>
$M_F$	moment sambungan <i>shell-to-bottom</i> dari <i>liquid weight</i>
$M_{ws}$	<i>overtuning moment</i> sambungan <i>shell-to-bottom</i> dari horizontal <i>wind pressure</i>
$M_{rw}$	total momen guling yang diterima pada dinding tangki, Nm (ft-lb)
$A_i$	koefisien percepatan spectrum respon impulsif, %g
$W_i$	bagian impulsif efektif dari berat cairan, N (lbf)
$X_i$	ketinggian dari bagian bawah <i>shell</i> tangki ke pusat aksi Gaya <i>seismic lateral</i>

	yang terkait dengan kekuatan cairan impulsif, m (ft)
$W_s$	total berat pada tangki, N (lbf)
$X_s$	ketinggian dari bagian bawah tangki ke pusat gravitasi <i>shell</i> , m (ft)
$W_r$	berat total dinding tangki (ft)
$X_r$	tinggi dari bawah tangki ke atap dan pusat gravitasi <i>roof appurtenaces</i> , m (ft)
$A_c$	koefisien percepatan respons spektrum respon konvektif, %g
$W_c$	berat efektif tangki yang dapat tumpah dari dinding, N (lbf)
$X_c$	tinggi dari bawah tangki ke pusat aksi gaya <i>seismic lateral</i> , m (ft)

### 1. PENDAHULUAN

Pada sistem distribusi di suatu industri dibutuhkan penampungan/penyimpanan (*storage*) untuk menjaga kelancaran dan ketersediaan produk sebelum di distribusikan lebih lanjut. Pada industri minyak sawit (*palm oil*), *storage tank* merupakan *equipment* yang harus ada guna menampung sementara minyak mentah atau pun minyak hasil dari pengolahan.

Minyak kelapa sawit merupakan jenis minyak nabati yang paling banyak dikonsumsi oleh penduduk dunia. Angka konsumsinya mencapai 75,45 juta metrik ton atau 36,3% dari konsumsi minyak nabati dunia (databoks.katadata.co.id). Karena kebutuhan produksi minyak kelapa sawit yang cukup besar maka untuk mengantisipasi kehabisan *stock* minyak sawit yang selalu meningkat tiap tahunnya, direncanakan untuk menambah kapasitas daya tamping *palm oil* untuk memperlancar proses distribusi dan penambahan 8 *storage* minyak baru dengan kapasitas dan jenis minyak olahan yang berbeda. Untuk pembangunan tangki baru tentu diperlukan biaya yang cukup besar, baik dari proses desain, material, konstruksi, maupun inspeksi. Oleh karena itu diperlukan perhitungan desain dan kekuatan tangki secara matang guna menghindari *defect*, *buckling*, maupun *leakage* yang dapat merugikan perusahaan dari segi biaya, waktu dan *safety*. Selain itu juga supaya tidak ada biaya tambahan untuk *repair* apabila terjadi sesuatu pada tangki.

Oleh karenanya, perlunya adanya perancangan desain dan analisis kekuatan pada sebuah tangki beserta perhitungan estimasi biaya material untuk pembangunan yang akan diangkat menjadi topik. Desain dan analisis ini mengacu pada *standard* agar dapat mengurangi atau memperkecil kemungkinan kegagalan pada tangki yang dibangun.

Dalam perancangan pembangunan tangki ini mengacu pada *API Standard 650 Thirteenth Edition, March 2020*, disertai dengan analisis dan pemodelan menggunakan *software Ansys*.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Bentuk Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menjamin kekuatan tangki terhadap beban angin dan gempa secara manual serta *displacement* atau deformasi dan *von mises* yang ditimbulkan oleh fluida di dalam tangki dengan *finite element method* menggunakan *software Ansys*. Setelah itu, hasil dari perhitungan tersebut akan dibandingkan dengan *allowable* pada *API 650 standard*.

### 2.2 Perhitungan Beban Angin

Standar API 650 paragraf 5.2.1 point (k) telah menjelaskan perhitungan beban angin pada desain tangki yang menggunakan kecepatan angin di area yang akan dibangun tangki tersebut. Tekanan desain angin di *shell* seharusnya  $0.89 \text{ kPa} \left(\frac{V}{190}\right)^2$ ,

$\left(\left[\frac{181bf}{ft^2}\right] \left[\frac{V}{120}\right]^2\right)$  pada daerah proyeksi *vertical* permukaan silinder dan tekanan desain angin pada *roof* seharusnya  $1.48 \text{ kPa} \left(\frac{V}{190}\right)^2$ ,  $\left(\left[\frac{301bf}{ft^2}\right] \left[\frac{V}{120}\right]^2\right)$  pada daerah proyeksi *horizontal* atap tangki. Tekanan desain angin tersebut telah sesuai dengan ASCE 7-05 untuk paparan angin kategori C. Alternatif untuk menentukan criteria tekanan desain angin dapat ditentukan sesuai dengan persamaan 3, 4, dan 5.

$$a. \quad 0.6 M_w + M_{pi} < M_{DL}/1.5 + M_{DLR} \quad (1)$$

$$b. \quad M_w + F_P (M_{pi}) < \frac{(M_{DL} + M_F)}{2} + M_{DLR} \quad (2)$$

$$c. \quad M_{ws} + F_P (M_{pi}) < \frac{(M_{DL} + M_F)}{2} + M_{DLR} \quad (3)$$

### 2.3 Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan stabilitas gempa terhadap tangki berdasarkan *standard American Petroleum Institute (API) 650 Appendix E* yaitu pembebanan pada baut dan *anchor strap* ( $0.8 X f_y$ ) dan pembebanan yang dibutuhkan pada keseluruhan *anchor* adalah ( $5/6 X f_{ty}$ ). Dimana  $f_y$  merupakan tegangan minimal pada *anchor bolt* dan  $f_{ty}$  merupakan tegangan minimal pada *bottom shell course*. Momen guling (*Overtuning moment*) menurut API 650 E.6.1.5 didapatkan dari gaya-gaya seperti pada persamaan berikut:

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_c)]^2} \quad (4)$$

### 2.4 Finite Element Method dengan ANSYS

*FEM* adalah suatu metoda yang secara keseluruhan didasari pada pendekatan dengan menggunakan analisis numerik. Dalam metode ini, struktur yang akan dianalisa, didiskritisasi menjadi elemen-elemen yang kecil (elemen hingga) yang satu sama lainnya dihubungkan dengan titik nodal (titik diskrit). Elemen hingga tersebut yang pada umumnya berbentuk sederhana dibandingkan struktur sebenarnya dan mempunyai ukuran yang berhingga, harus mewakili sifat-sifat dari struktur sebenarnya.

Melakukan perhitungan secara manual akan sangat melelahkan dan membutuhkan waktu yang banyak untuk struktur yang dibagi dengan elemen yang berjumlah besar. Saat ini terdapat banyak *software computer finite element* yang mempercepat waktu perhitungan seperti *software ANSYS* (Kharisma et al., 2021)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Data Utama

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sebagai berikut:

Tabel 1 Data Utama Tangki

No	Data	Keterangan
1.	Dimensi tangki :	
	<i>Inside diameter</i>	7700 mm
	<i>Height</i>	10200 mm
	Ukuran pelat	6096 mm x 1829 mm
2.	Material	A283 Gr.C
3.	<i>Tank volume</i>	450 kL
4.	<i>Corrosion allowance</i>	3 mm
5.	$S_d$	137 MPa
6.	$S_t$	154 MPa
7.	<i>Fluid density</i>	895 kg/m <sup>3</sup>
8.	Kecepatan angin	16 km/jam
9.	Zona gempa	1

### 3.2 Hasil Perhitungan Beban Angin

Untuk menentukan kriteria tangki dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

- $0,6 M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$   
 $2.645,78 N.m < 96.826.716,81 N.m$
- $M_w + F_p (M_{pi}) < \frac{M_{DL} + M_F}{2} + M_{DLR}$   
 $4.409,64 N.m < 73.357.116,24 N.m$
- $M_{ws} + F_p (M_{pi}) < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$   
 $2.528,04 N.m < 96.826.716,81 N.m$

Dari hasil perbandingan di atas dapat disimpulkan bahwa kriteria tangki stabil, tanpa menggunakan *anchor* (baut).

### 3.3 Hasil Perhitungan Beban Gempa

Pada pembahasan ini akan menghitung *seismic overturning moment* pada tangki dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_i &= \text{Impulsive design response spectrum acceleration coefficient, (API 650 E.4.6.1-1)} \\
 &= 2,5 Q F_a S_0 \left( \frac{1}{R_{wi}} \right) \\
 &= 2,5 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,08 \left( \frac{1}{3,5} \right) \\
 &= 0,091428571 \text{ g} \\
 A_c &= \text{Convective design response spectrum acceleration coefficient, (API 650 E.4.6.1-4)} \\
 &= 2,5 Q F_a S_0 \left( \frac{T_s T_L}{T_c^2} \right) \left( \frac{1}{R_{wc}} \right) \\
 &= 2,5 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,08 \cdot \left( \frac{0,75 \cdot 4}{2,89^2} \right) \left( \frac{1}{2} \right) \\
 &= 0,057583648 \text{ g} \\
 W_i X_i &= 3.483.969,35 \text{ N x } 4,38 \text{ m} \\
 &= 15.246.546,69 \text{ N.m} \\
 W_s X_s &= 114.016,73 \text{ N x } 5,1 \text{ m} \\
 &= 581.485,30 \text{ N.m} \\
 W_r X_r &= 29.065,75 \text{ N x } 10,52 \text{ m} \\
 &= 305.771,74 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_c X_c &= 723.985,59 \text{ N x } 8,13 \text{ m} \\
 &= 5.888.992,78 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{rw} &= \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_c)]^2} \\
 &= 1.513.567,88 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

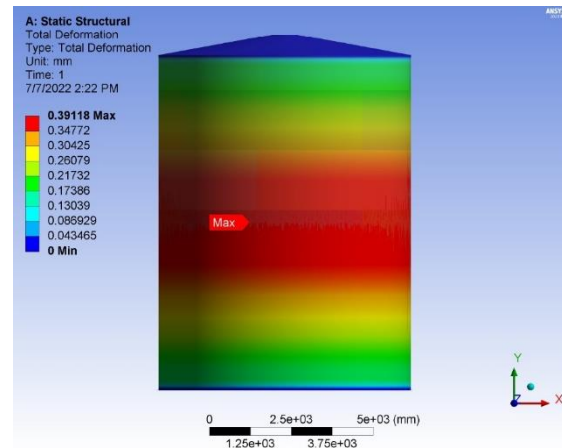
Dilanjutkan kerumus utama untuk mencari *anchorage ratio* seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{M_{rw}}{D^2 [W_t(1-0,4A_v) + W_a - 0,4W_{int}]} \\
 &= \frac{1.513.567,88 \text{ N.m}}{7,7^2 [308.519,17(1-0,4 \cdot 0,0564) + 13.808,14 - 0,4 \cdot 0]} \\
 &= 0,080947613
 \end{aligned}$$

Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai rasio 0,081 kurang dari 0,785 maka tangki tidak perlu menggunakan *anchorage* (baut)

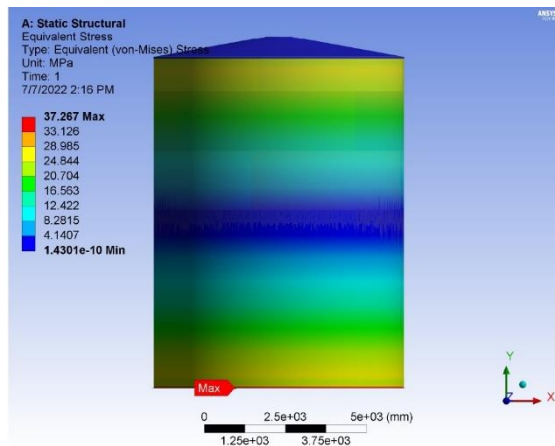
### 3.4 Data dan Analisis Total Deformasi Serta Von Mises Stress Terhadap Allowable Stress dengan Ansys

Simulasi *finite element method* pada tangki akibat beban fluida dengan *mesh* 0,1 m didapatkan hasil analisis maksimum *displacement* atau deformasi sebesar 0,39 mm. Nilai maksimum perubahan bentuk yang terjadi pada *olein storage tank* terdapat pada bagian tengah *shell* akibat beban dari fluida yang ditampung. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Total Deformasi

Selanjutnya adalah perhitungan *von mises*. Dalam simulasi *von mises* didapatkan nilai tegangan maksimum pada *shell* sebesar 37,267 MPa yang terletak pada bagian *shell* paling bawah. Tegangan tersebut masih jauh di bawah *allowable stress of material* (A 283 gr C) sebesar 137 MPa dan *yield stress* 205 MPa. Gambar 2 berikut menunjukkan bagian gradasi dari *equivalen (von mises) stress* akibat beban fluida.



Gambar 2 Equivalent Stress (von-Mises)

#### 4. KESIMPULAN

Dari perhitungan stabilitas tangki terhadap angin, nilai *moment* yang didapatkan adalah 2.645,78 N.m kurang dari 96.826.716,81 N.m. Sesuai dengan API 650 standar kriteria tersebut dianggap stabil dan tanpa menggunakan *mechanical anchorage*. Untuk Hasil perhitungan *overtuning moment* terhadap *seismic load*, *anchorage ratio criteria* lebih kecil dari 0,785 (0,081 kurang dari 0,785) maka tangki stabil tidak membutuhkan *mechanical anchorage*.

Hasil simulasi menggunakan Ansys dengan beban dan tekanan fluida 4.170.263,97 N dan 16.901,4 Pa pada *shell*. Didapatkan nilai tegangan maksimum pada *shell* sebesar 37,267 MPa. Tegangan tersebut masih jauh di bawah *allowable stress of material* (A 283 gr C) sebesar 137 MPa dan *yield stress* 205 MPa. Deformasi terbesar yang dialami tangki adalah 0,39 mm.

#### 5. SARAN

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih detail dan bervariasi dengan menggunakan material pelat yang berbeda dalam pembuatan desain sebuah tangki, untuk mendapatkan hasil yang bervariasi.

Nilai deformasi dapat digunakan untuk perancangan pipa yang tersambung dengan *nozzle* tangki terkait perhitungan *allowable span* dan perhitungan lainnya.

Nilai *wind load* dan *seismic load* dapat dihitung lebih lanjut dengan *software finite element method*.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] American Petroleum Institute 650, 2020, Thirteenth Edition
- [2.] Kharisma, A. A., Givari, A. F., & Mulyana, I. S. (2021). Desain Dan Analisis Kekuatan Tangki *Fire Water Storage Tank Tipe Fix Cone Roof* Kapasitas 1500 Kl Dengan Perhitungan Aktual Dan Simulasi *Software*. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 26(1), 69–78. <https://doi.org/10.35760/tr.2021.v26i1.3692>
- [3.] Mahardhika, P., & Ratnasari, A. (2018). Perancangan Tangki *Stainless Steel* untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni Kapasitas 75 M3. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 3(1), 39–46. <https://doi.org/10.31544/jtera.v3.i1.2018.39-46>
- [4.] Masrukhi, M., Mahardhika, P., Erawati, I., & Wasono, B. P. (2019). *The design and stress analysis of a 10.000 barrel fixed roof crude oil storage tank* In: PPNS (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya), 4th Conference On Piping Engineering and Its Application (CPEAA) 2019. Surabaya
- [6.] Pangestu, Haris Yoga, Prasojo, B. (2018). Desain dan Pemodelan *Storage Tank* Kapasitas 40.000 kL Menggunakan *Software Intergraph Tank* In: PPNS (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya), 3rd Conference On Piping Engineering and Its Application (CPEAA) 2018. Surabaya
- [8.] Prasojo, B., Erawati, I. (2020). Analisa Teknis dan Ekonomis Proteksi *Sacrificial Anode* dengan *Impressed Current* untuk Tangki, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [9.] Widharto, Sri. (2002). *Inspeksi Teknik*: Buku 2, Jakarta, PT. Pradnya Pramita.
- [10.] Winarno, Atrasani B. (2017). Desain dan Pemodelan pada *Storage Tank*
- [11.] Kapasitas 50.000 Kl (Studi Kasus PT. Pertamina Region V TBBM Tuban), Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.