

Design Of A 1600 Bbl Crude Oil Storage Tank In The Sp-Iv Rantau Field Area And Strength Analysis Using Stress Analysis Modeling Software

Yusuf Afianto*, Budi Prasajo², Rahmat Basya Shahrys Tsany³

Program studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*2*3}

Email: yusufafianto@gmail.com^{1*}; BudiPrasajo1968@gmail.com^{2*}; rahmatbasva@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - Rantau Field is one of the oil and gas fields operated by PT Pertamina EP, consisting of several active structures. Based on inspection results, Tank T-407 was declared unfit for operation due to peeling paint and perforations in the wall plates. Therefore, a new storage tank with a capacity of 1,600 BBLS is planned for construction at SP-IV Rantau Field using carbon steel ASTM A283 Grade C. The design follows API Standard 650, 13th, March 2020, applying the one-foot method. From calculations, the minimum shell plate thickness for courses 1 to 5 is use 6 mm because since all values are less than 6 mm, a thickness of 6 mm is adopted according to API 650 requirements, which specify a minimum of 6 mm for tank diameters between 6 m and 36 m. The bottom plates are designed with a thickness of 9 mm, and the roof plates 8 mm. Stability analysis shows the tank is stable without anchorage. A 3D model and finite element analysis produced an equivalent stress of 26.773 MPa and deformation of 0.9412 mm. Both are within allowable limits for ASTM A283 Grade C. The estimated construction cost of the 1,600 BBLS tank is IDR 3,177,048,387.00

Keyword: Deformation, Equivalent Stress, Minimum Thickness, Modelling, Storage Tank

Nomenclature

H	tinggi tangki (m)
OD	outside diameter (m)
t_d	tebal pelat shell desain (mm)
t_t	tebal pelat shell hydrostatic test (mm)
CA	corrosion allowance
V_f	faktor kecepatan
P_{ws}	wind pressure on shell
P_{wr}	wind pressure on roof
M_{TW}	overturning moment
J	anchorage ratio
σ_e	Equivalent Stress (von-mises)
ΔRez	Total Deformation

minimum pelat tangki (shell, bottom, roof, manhole, nozzle) dengan metode One Foot Method, membuat model 2D dan 3D menggunakan Software pemodelan 3D, serta menganalisis kekuatan struktur terhadap tekanan internal dan beban eksternal menggunakan metode elemen hingga di Pemodelan Analisis Tegangan [2]. Estimasi biaya material, fabrikasi, dan ereksi juga dilakukan (tanpa komponen sipil) [3]. Hasilnya diharapkan menjadi referensi teknis dan solusi efisien bagi kebutuhan kapasitas tambahan di SP-IV Rantau Field [1].

2. METODOLOGI.

2.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan analisis kekuatan tangki penyimpanan minyak berkapasitas 1600 BBLS sesuai API 650 edisi ke-13 tahun 2020. Kegiatan utama meliputi pemilihan material, perhitungan ketebalan minimum komponen tangki dengan metode One Foot Method, serta analisis kestabilan terhadap beban angin dan gempa [3]. Desain dilakukan melalui pemodelan 2D dan 3D di Software pemodelan 3D dan simulasi tegangan serta deformasi menggunakan Pemodelan Analisis Tegangan. Data diperoleh dari observasi lapangan dan literatur, dilanjutkan dengan analisis material, estimasi kebutuhan elektroda, dan perhitungan biaya berdasarkan bill of quantity. Hasilnya memberikan rekomendasi teknis untuk pengembangan tangki migas [4].

1. PENDAHULUAN

Industri migas Indonesia terus berkembang, menjadi pilar utama ekonomi nasional. Di Field Rantau, produksi minyak dan air meningkat hingga 2.361 BBLS dan 169 BBLS (Maret 2023), namun hanya satu dari tiga tangki yang berfungsi. Ketidakseimbangan kapasitas penyimpanan dan output berisiko mengganggu operasi, termasuk pengukuran produksi, pembersihan tangki, hingga potensi shutdown sumur [1]. Penelitian ini mengusulkan desain ulang tangki 1600 BBLS sesuai standar API 650 [2].

Dengan adanya permasalahan yang telah dijelaskan tersebut, maka tugas akhir ini akan mengangkat tema perancangan desain, pemodelan dan analisis kekuatan serta perhitungan biaya material pembangunan tangki kapasitas 1.600 BBLS yang mengacu API standart 650. Tujuannya adalah menghitung ketebalan

2.2 Perhitungan Tebal Pelat

1. Tebal pelat

Pada perhitungan ini memberikan hasil berupa tebal minimal pelat pada bottom plate, shell, roof, manhole dan berat pada material serta perhitungan luasan pengelasan pada pelat. Metode yang digunakan *One Foot Method* mengacu pada *Standard API 650*. Perhitungan ketebalan minimal pelat pada *shell* seperti persamaan berikut [3] :

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{s_d} + CA \quad (1)$$

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{s_t} \quad (2)$$

Keterangan:

G = *specific gravity liquid* (kg/m³)

S_d = *allowable stress design* (MPa.)

S_t = *allowable stress hydrostatic test* (MPa)

Untuk minimal ketebalan pelat pada *bottom plate* mengacu standart API 650 para 5.4 yaitu 6 mm lalu ditambahkan dengan CA seperti pada persamaan berikut [3]:

$$t_{bottom} = 6 \text{ mm} + CA \quad (3)$$

Dimana,

CA = *corrosion allowance* ,dalam mm

Perhitungan ketebalan minimal pelat pada *roof* yang akan dipasang tidak boleh kurang dari 3/16 inch atau 5 mm berdasarkan pada API 650 para 5.10.2.2 lalu ditambahkan *corrosion allowance* (CA) seperti pada persamaan berikut [3]:

$$t_{roof} = 5 \text{ mm} + CA \quad (4)$$

Dimana,

CA = *corrosion allowance* ,dalam mm

2.3 Beban Angin

Menurut API std 650 para 5.2.1 point (k) dijelaskan perhitungan beban angin pada desain menggunakan kecepatan angin pada area tersebut. Tekanan desain angin pada *shell* seharusnya $0,89 \text{ kPa} \times \left(\frac{V}{190}\right)^2$, pada daerah proyeksi vertikal permukaan silinder dan tekanan desain angin pada *roof* seharusnya $1,48 \text{ kPa} \times \left(\frac{V}{190}\right)^2$ pada daerah proyeksi horizontal permukaan atap. Tekanan desain angin tersebut sesuai dengan ASCE 7-05 untuk paparan angin kategori C. Untuk menentukan kriteria pada tangki sesuai dengan persamaan berikut [3]

$$1. 0,6 \times M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR} \quad (5)$$

$$2. M_w + (F_p \times M_{pi}) < \frac{M_{DL} + M_f}{2} + M_{DLR} \quad (6)$$

$$3. M_{ws} + (F_p \times M_{pi}) < \frac{M_{DL}}{2} + M_{DLR} \quad (7)$$

Keterangan:

M_{pi} = *Moment sambungan shell-to-bottom dari internal design pressure*

M_{DL} = *Moment sambungan shell-to-bottom dari weight of shell*

M_{DLR} = *Moment sambungan shell-to-bottom dari weight of roof plate*

F_p = *Faktor kombinasi tekanan*

M_F = *Moment sambungan shell-to-bottom dari liquid weight*

M_{ws} = *Overtuning moment sambungan shell-to-bottom dari horizontal wind pressur*

2.4 Beban Gempa

Kalkulasi stabilitas gempa pada tangki penyimpanan mengacu pada API 650 13th Edition, 2020 Appendix E, dengan beban gempa dihitung berdasarkan tegangan minimum anchor bolt sebesar $0,8 \times f_y$ dan tegangan minimum bottom shell course sebesar $5/6 \times f_y$. Nilai momen guling (*overturning moment*) diperoleh sesuai persamaan dalam Annex E.6.1.5 [3].

$$M_{rw} = \frac{\sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + \sqrt{[A_c(W_c X_c)]^2}}}{\sqrt{[A_c(W_c X_c)]^2}} \quad (8)$$

M_{rw} = *Total Overtuning moment yang diterima shell storage tank*, Nm (ft-lb)

A_i = *Koefisien percepatan spektrum implusive design response*

W_i = *Bagian implusif efektif dari berat fluida*, N (lbf)

X_i = *Ketinggian bawah shell storage tank ke pusat gaya seismic lateral terkait dengan kekuatan fluida implusif*, m (ft)

W_s = *Total berat storage tank*, N (lbf)

X_s = *Ketinggian bawah storage tank ke pusat gravitasi dari shell*, m (ft)

W_r = *Total berat dari shell storage tank*, N (lbf)

X_r = *Ketinggian bawah storage tank ke atap (roof) dan pusat dari gravitasi roof appurtenances*, m (ft)

A_c = *Koefisien percepatan dari respon spektrum ke respon konvektif*

W_c = *Berat efektif dari isi storage tank yang tumpah dari dinding (shell)*, N (lbf)

X_c = *Ketinggian bawah storage tank ke pusat gaya seismic lateral*, m (ft)

2.5 Pembebanan

Ada berbagai macam hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan serta pembuatan tangki yakni pembebanan beban angin (*Wind Load*) dan beban hidrostatik (*Hydrostatic Load*) [3].

2.5.1 Wind Load

Beban angin adalah gaya pada struktur akibat aliran angin, di mana energi kinetik berubah menjadi energi potensial. Besarnya dipengaruhi oleh kecepatan angin, bentuk, kekuatan struktur, dan faktor lainnya. Perhitungannya pada dinding (*shell*) tangki mengacu pada SNI 1727:2013.

$$p = qG C_p - q_i(G C_{pi}) \quad (9)$$

Keterangan:

q = q_z untuk *shell* disisi angin datang diukur menggunakan ketinggian z dari atas permukaan tanah (N/m²)

G = *Faktor tiupan angin* (SNI 1727:2013, Pasal 26.9)

C_p = Koefisien dari tekanan eksternal (SNI 1727:2013)

q_i = Tekanan internal dari bangunan (N/m²)

C_{pi} = Koefisien dari tekanan internal (SNI 1727:2013)

2.5.2 Hydrostatic Load

Fluida dalam storage tank memberikan gaya dan tekanan pada dinding (*shell*), yang besarnya bergantung pada massa jenis dan ketinggian fluida. Perhitungan *hydrostatic load* menggunakan persamaan berikut [2]:

$$H_{load} = p \times g \times h \quad (10)$$

Keterangan:

H_{load} = Hydroatstic Load

ρ = Massa jenis fluida, kg/m³

g = Percepatan gravitasi, m/s²

h = Ketinggian dari fluida, m

2.6 Pemodelan tangki Menggunakan Software Software pemodelan 3D

Pada tahap ini, pemodelan tangki dilakukan menggunakan *Software* pemodelan 3D untuk mendesain dan menghitung kebutuhan pelat tiap *course*. Komponen utama yang dimodelkan meliputi *bottom*, *shell*, *roof*, dan *nozzle*, disesuaikan dengan perhitungan manual dan gambar general arrangement. Tujuan pemodelan adalah mempermudah input geometris ke Pemodelan analisis tegangan agar sesuai kondisi actual [2].

2.7 Finite element method Menggunakan Software Pemodelan analisis tegangan

Finite Element Method (FEM) adalah metode numerik yang mendiskritisasi struktur menjadi elemen kecil terhubung oleh titik nodal untuk merepresentasikan sifat struktur. Karena perhitungan manual pada struktur kompleks memakan waktu, digunakan *software* seperti Pemodelan Analisis Tegangan untuk mempercepat analisis. Perhitungan *FEM* dengan Pemodelan Analisis Tegangan dilakukan sebagai berikut.

2.7.1 Menginput data pembebanan pada software Pemodelan Analisis Tegangan

Langkah selanjutnya adalah mengimpor *model* dari *Software* pemodelan 3D ke Pemodelan Analisis Tegangan, lalu menetapkan bagian *bottom tank* dan *top angle* sebagai *fix support*. Hal ini sesuai dengan sistem pondasi *self anchorage*, yang berdasarkan perhitungan beban angin dan gempa tidak memerlukan *anchorage* tambahan. Setelah diinputkan pembebanan, Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *Von Misses* pada *storage tank* diperlukan guna mengetahui kekuatan *storage tank* saat diberikan beban *hydrostatic* dan beban angin. Untuk mengetahui kekuatan *storage tank* dapat disimulasikan melalui *software* Pemodelan analisis tegangan

dengan menginput beban yang telah dihitung atau diketahui.

2.7.2 Equivalent Stress (von-mises)

Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh *von Mises* dijelaskan melalui tegangan *von Mises* (σ_v), yaitu tegangan skalar yang dihitung dari tensor tegangan. Material dianggap mulai luluh saat σ_v mencapai kekuatan luluh (*yield strength*). Tegangan ini digunakan untuk memprediksi luluh material berdasarkan hasil uji tarik, dengan arah tegangan terbagi dalam beberapa komponen. Berikut ini persamaan *von mises* yang biasanya digunakan guna menghitung resultant tegangan. $\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_l - \sigma_h)^2 + (\sigma_r - \sigma_h)^2 + (\sigma_r - \sigma_l)^2}$ (11)

Keterangan:

σ_e = Von-misses, MPa

σ_1 = Circumferensial stress, MPa

σ_2 = Longitudinal stress, MPa

σ_3 = Radial stress, Mpa

2.7.3 Deformasi

Ketika suatu struktur menerima beban tertentu, sendi plastis dapat terbentuk pada kolom dan balok, yaitu kondisi saat elemen tidak lagi mampu menahan gaya secara optimal, sehingga terjadi deformasi. Deformasi akibat beban pada storage tank ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\Delta Rez = \left(\frac{R}{E} \right) \times (\sigma_h - v \cdot \sigma_l) \quad (12)$$

Keterangan:

R = Radius dari storage tank, mm

E = Modulus young, MPa

σ_h = Hoop stress, MPa

v = Position ratio

σ_l = Longitudinal stress, Mpa

Sesuai *API 650 pasal 7.5.2* dan *7.5.3*, batas deformasi mencakup *plumbness* (kemiringan vertikal maksimum) dan *roundness* (kebulatan *shell*). *Plumbness* dibatasi defleksi maksimum 1/200 dari total tinggi tangki, dengan rumus berikut [3]:

$$\text{Allowable Deformation} = \frac{1}{200} \times \text{Total Height}$$

Dan untuk *roundness* mengikuti acuan pada tabel berikut:

Tabel 1 : *Radius Tolerances of Roundness*

Tank Diameter (m)	Radius Tolerance (mm)
< 12	± 13
From 12 to < 45	± 19
From 45 to < 75	± 25
≥ 75	± 32

2.8 Rencana Anggaran Biaya Pembangunan Tangki

Dalam pengembangan proyek, perlu mempertimbangkan investasi yang dikeluarkan karena berkaitan dengan dana perusahaan. Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan

perhitungan total biaya bahan, upah, dan biaya lainnya yang terkait pelaksanaan proyek.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Utama Tangki

Pemilihan material didasarkan pada data teknis dari perusahaan. Spesifikasi tangki selengkapnya ditampilkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 : Data Utama Tangki

No.	Data	Keterangan	Satuan
1.	Dimensi Tangki		
	- Inside Diameter	7.200	m
	- Height	7.453	m
	- Jumlah Course	4	
	- Uk. plate course 1-5	6000x1500	mm
2.	Material	A283 Gr. C	
3.	Max. Liquid level	6.280	mm
4.	Capacity	170,12	m ³
5.	Corrosion allowance	3	mm
6.	Sd	137	MPa
7.	St	154	MPa
9.	Density (Crude Oil)	977	kg/m ³
10.	Kecepatan Angin	6,852	km/jam

Berikut merupakan hasil perhitungan dari *minimum thickness shell, bottom & roof* pada tangki

Tabel 3 : Ketebalan Minimal Pelat Shell

Course	H (m)	Td (mm)	Tt (mm)	T API 650 (mm)	T Aktual (mm)
1	7,45	5,623	1,639	6,00	6,00
2	5,95	5,073	1,295	6,00	6,00
3	4,45	4,523	0,951	6,00	6,00
4	2,95	3,973	0,608	6,00	6,00
5	1,45	3,423	0,264	6,00	6,00

Dan untuk ketebalan Minimal Pelat *Bottom & Roof* sebagai berikut :

$$t_{bottom} = 9.35 \text{ mm}$$

$$t_{roof} = 8 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, ketebalan pelat pada *bottom* disesuaikan pada tebal dilapangan maka menjadi 10 mm.

3.2 Hasil Perhitungan Stabilitas tangki Terhadap Angin

Untuk menentukan kriteria tangki dengan persamaan sebagai berikut :

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

$$0,6 \times 513,53 \text{ N.m} + 0 \text{ N.m} < \frac{309,066,79 \text{ N}}{1,5} + 89.993,71 \text{ N.m}$$

$$308,12 \text{ N.m} < 296.038,23 \text{ N.m}$$
- $$M_w + (F_p \times M_{pi}) < \frac{M_{DL} + M_f}{2} + M_{DLR}$$

$$513,53 \text{ N.m} + (0,4 \times 0) < \frac{309,066,79 \text{ N} + 1314,55 \text{ N.m}}{2} + 89.993,71 \text{ N.m}$$

$$513,53 \text{ N.m} < 245.184,37 \text{ N.m}$$
- $$M_{ws} + (F_p \times M_{pi}) < \frac{M_{DL}}{2} + M_{DLR}$$

$$231,44 \text{ N.m} + (0,4 \times 0) < \frac{309,066,79 \text{ N}}{2} + 89.993,71 \text{ N.m}$$

$$231,44 \text{ N.m} < 296.038,23 \text{ N.m}$$

Mengacu pada *API 650 pasal 5.11.2.1*, tangki dinyatakan stabil tanpa *anchorage* jika memenuhi tiga syarat. Hasil analisis menunjukkan ketiganya terpenuhi, sehingga tangki dianggap stabil.

3.3 Hasil Perhitungan Stabilitas tangki Terhadap Gempa

Berikut merupakan perhitungan dari M_{rw} (*overtuning moment*).

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

$$= \sqrt{[0,257142857 \text{ g}(7.252.804,224 \text{ N.m} + 309.930,467 \text{ N.m} + 189.862,030 \text{ N.m})]^2 + [0,043262731 \text{ g}(3.600.882,124 \text{ N.m})]^2}$$

$$= 1.999.602,48 \text{ N.m}$$

Dilanjutkan ke rumus utama untuk mencari *anchorage ratio* seperti berikut :

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 [W_t(1,0 - 0,4 \times A_v) + W_a - 0,4 \times W_{int}]}$$

$$= \frac{1.999.602,48}{7,20^2 [28.675,14 (1,0 - 0,4 \times 0,423) + 857,35 - 0,4 \times 0]}$$

$$= 1,5628672$$

Setelah diperoleh nilai *anchorage ratio* (J) sebesar 1,5628672, yang berada antara 0,785 dan $\leq 1,54$, maka tangki dinyatakan stabil tanpa memerlukan *anchorage* (baut).

3.4 Hasil Perhitungan Wind Load & Hydrostatic Load

1. Perhitungan Wind Load

Berikut hasil perhitungan tekanan angin desain pada ketinggian z sesuai dengan tabel 4 berikut.

Tabel 4 : Hasil Perhitungan Tekanan Angin Desain

z(m)	P(N/m ²)
7.45	11.5070
5.93	10.7712
4.41	9.8669
2.88	8.6689
1.36	6.7911

2. Perhitungan Hydrostatic Load

Berikut hasil perhitungan untuk beban *hydrostatic* pada *shell* pada tabel 5 berikut:

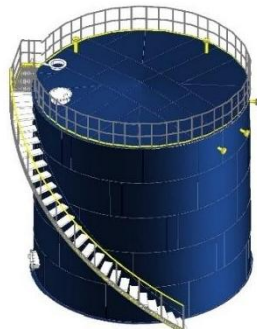
Tabel 5 : Hasil Perhitungan Tekanan Hydrostatic

course	ρ fluida (kg/m ³)	g (m/s ²)	H (m)	Hload (Pa)	Hload (MPa)
1	977	9,81	7,45	71441,8	0,0714
2	977	9,81	5,93	56833,3	0,0568
3	977	9,81	4,41	42224,8	0,0422
4	977	9,81	2,88	27616,3	0,0276
5	977	9,81	1,36	13007,8	0,0130

Setelah nilai beban diketahui, beban diinput ke dalam Pemodelan analisis tegangan untuk mengetahui total deformasi dan tegangan *equivalent* (*von Mises*). Beban angin dan hidrostatik meningkat seiring ketinggian, sehingga beban pada *shell plate* semakin besar.

3.5 Pemodelan tangki Menggunakan Software Software pemodelan 3D

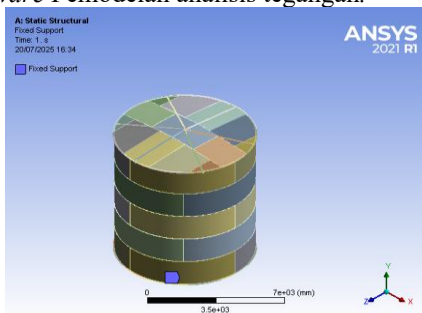
Berikut pemodelan tangki dilakukan menggunakan *Software pemodelan 3D*. Tujuan pemodelan adalah mempermudah input geometris ke Pemodelan analisis tegangan agar sesuai kondisi aktual.



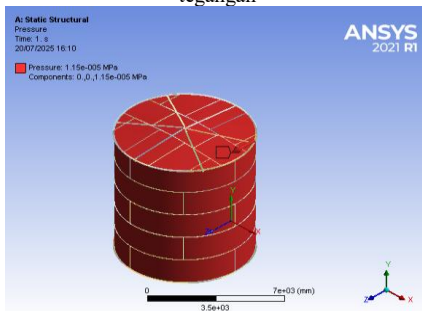
Gambar 1 *Modelling at Software pemodelan 3D*
Pemodelan dengan *Software pemodelan 3D* menghasilkan dimensi aktual sebagai acuan *erection*, lalu dilanjutkan dengan analisis kekuatan struktur sebelum fabrikasi.

3.6 Hasil Input data pembebanan ke *software* Pemodelan analisis tegangan

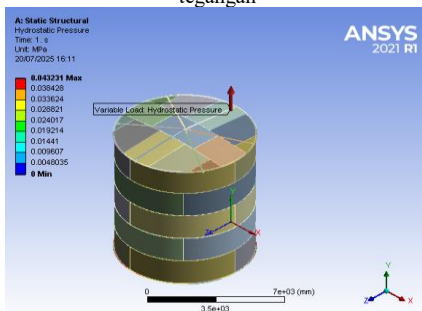
Bagian *bottom tank* dan *top angle* ditetapkan sebagai *fix support* karena sistem pondasi *self anchorage*, sesuai hasil perhitungan beban angin dan gempa. Selanjutnya, beban angin dan hidrostatik yang telah dihitung diinput ke dalam *software* Pemodelan analisis tegangan.



Gambar 2 *Fix Support at Software* Pemodelan analisis tegangan



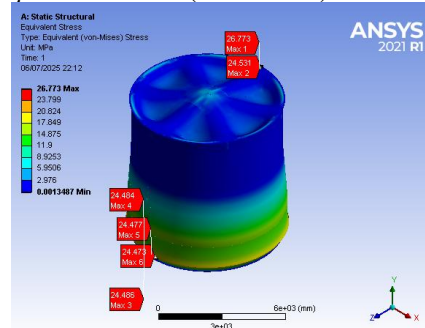
Gambar 3 *Wind Load at Software* Pemodelan analisis tegangan



Gambar 4 *Hydrostatic Load at Software* Pemodelan analisis tegangan

Analisis Von Mises dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan *storage tank* terhadap beban hidrostatik dan angin melalui simulasi di PEMODELAN ANALISIS TEGANGAN menggunakan beban yang telah dihitung sebelumnya.

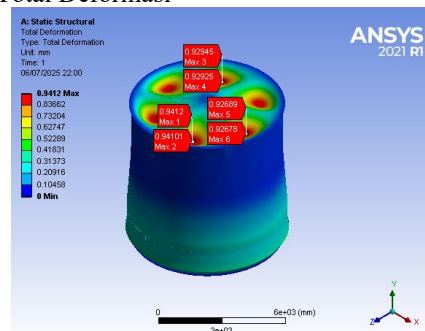
a) *Equivalent Stress (Von Misses)*



Gambar 5 *Equivalent Stress at Software* Pemodelan analisis tegangan

Hasil simulasi static structural pada T-407 Rantai *storage tank* menunjukkan tegangan maksimum von Mises sebesar 26,773 MPa, masih di bawah batas aman 137 MPa.

b) Total Deformasi



Gambar 6 *Total Deformation at Software* Pemodelan analisis tegangan

Berdasarkan Gambar 6 hasil simulasi *static structural* pada T-407 Rantai *storage tank*, didapatkan nilai deformasi *maksimum* sebesar 0,9412 mm. Hasil tersebut tidak melebihi *allowable deformation* yaitu sebesar 37,265 mm untuk *plumbness* dan ± 13 mm untuk *roundness*, sehingga nilai total deformasi yang terjadi masih dapat diterima.

3.7 Hasil Perhitungan Manual *Equivalent Stress* dan Deformasi dengan *Software* Pemodelan analisis tegangan

a) Perhitungan manual *Equivalent Stress (Von Misses)*

Setelah mendapatkan nilai *hoop stress*, *longitudinal stress*, dan *radial stress* maka didapatkan nilai *Equivalent Stress* dengan persamaan berikut:

$$\sigma_e = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_l - \sigma_h)^2 + (\sigma_r - \sigma_h)^2 + (\sigma_r - \sigma_l)^2}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{(66,7338 \text{ MPa} - 17,8 \text{ MPa})^2 + (-0,071 \text{ MPa} - 17,8 \text{ MPa})^2 + (-0,071 \text{ MPa} - 66,7338 \text{ MPa})^2}$$

$$= 59,894 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai *von misses stress maksimum* sebesar 59,894 MPa. Nilai tegangan ini dianggap aman karena masih dibawah nilai *allowable stress material* sebesar 137 MPa.

b) Perhitungan manual Total Deformasi

Deformasi yang terjadi akibat pembebanan pada storage tank dapat dihitung menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\Delta Rez = \left(\frac{R}{E} \right) \times (\sigma h - v. \sigma l) \\ = \left(\frac{3.600 \text{ mm}}{190.000 \text{ MPa}} \right) \times (17,8 \text{ MPa} - 0,29 \times 66,7338 \text{ MPa}) \\ = -0,028721453 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai deformasi sebesar -0,028721453 mm masih berada di bawah batas *maksimum plumbness* 37,265 mm dan *roundness* ± 13 mm, sehingga deformasi yang terjadi masih dapat diterima.

3.8 Hasil Rencana Anggaran Biaya Pembangunan Tangki

Pembahasan ini mencakup estimasi biaya pembangunan tangki 1600 BBLS, termasuk *bill of material* dan biaya konstruksi dengan asumsi durasi pengerjaan 150 hari.

Tabel 6 : Hasil Perhitungan Biaya Material

REKAPITULASI BIAYA PEKERJAAN		
NO.	URAIAN PEKERJAAN	TOTAL BIAYA
I	Material	
	A. Material Utama	Rp 686.744.562
	B. Material Electrical, Instrument, Painting dan Accessories Tangki	Rp 150.743.070
	Total Material	Rp 837.487.632

Dari tabel 6 perhitungan biaya material di atas didapatkan estimasi biaya yang dibutuhkan untuk pembelian *material* sebesar Rp 837.487.632,06.

Tabel 7 : Hasil Perhitungan Biaya Konstruksi

REKAPITULASI BIAYA PEKERJAAN		
NO	URAIAN PEKERJAAN	TOTAL BIAYA
II	Jasa	
	A. Pekerjaan Persiapan	Rp 208.995.000
	B. Project Management	Rp 254.800.000
	C. Transportasi Kerja	Rp 521.250.000
	D. Pekerjaan Pemipaan	Rp 20.362.726
	E. Pembongkaran Pipa	Rp 783.660
	F. Cleaning Tank	Rp 25.656.000
	G. Pekerjaan Pembuatan Tangki	Rp 1.133.355.369
	H. Pekerjaan Pengujian	Rp 30.208.000
	I. Pekerjaan Sertifikasi	Rp 133.500.000
	J. Pekerjaan Penyelesaian	Rp 10.650.000
	Total Jasa	Rp 2.339.560.755

Berdasarkan tabel estimasi, pekerjaan pada *shell*, *roof*, *nozzle*, *manhole*, dan struktur pendukung mencakup fabrikasi, *fit up*, *welding*, *grinding*, *sandblasting*, dan pengecatan, kecuali bagian bottom yang tidak memerlukan *sandblasting* dan

pengecatan. *Erection* dilakukan dengan *crane*, *scaffolding*, dan *TMC truck*, serta inspeksi dilakukan melalui *hydrotest 10–15 bar*. Total estimasi biaya fabrikasi dan *erection* sebesar Rp 2.339.560.755,38.

4. KESIMPULAN

Hasil perhitungan tebal minimum pelat *shell* adalah 5,623 mm hingga 3,423 mm, dan karena semuanya <6 mm maka digunakan pelat 6 mm sesuai API 650, dengan *bottom plate* 10 mm dan *roof* 8 mm. Pemodelan 3D cukup rumit saat diimpor ke Pemodelan Analisis Tegangan karena sering muncul celah di sambungan bottom - shell, sehingga harus dilakukan teliti. Analisis menunjukkan momen angin 308,12 N.m di bawah batas 296.038,23 N.m, sehingga tangki stabil tanpa *anchor*, dengan *anchorage ratio* 1,5628672 masih aman untuk gempa, dan *sistem self-anchored tetap* stabil selama tekanan *shell* memenuhi syarat. Simulasi Pemodelan Analisis Tegangan menunjukkan equivalent stress *maksimum* 26,773 MPa jauh di bawah batas *material ASTM A283 Gr. C* sebesar 137 MPa, dengan deformasi *maksimum* 0,9412 mm masih dalam batas aman (*plumbness* 37,265 mm dan *roundness* ± 13 mm), sehingga desain tangki dinyatakan aman. Total biaya pembangunan tangki 1600 BBLS adalah Rp 3.177.048.387,00, terdiri dari biaya material Rp 837.487.632,06 dan konstruksi Rp 2.339.560.755.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Report Project Summary* AFE_PEP_Penggantian 1 (Satu) Unit Tangki Kapasitas 1600 BBLS di SP-IV Rantau Field.
- [2] *American Petroleum Institute. 650 March (2020). Welded Tanks for Oil Storage (13th ed.)*.
- [3] 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.
- [4] Winarno, Atrasani B. (2017). Desain dan Pemodelan pada *Storage Tank* Kapasitas 50.000 kL (Studi Kasus PT. Pertamina Region V TBBM Tuban), PPNS.