



# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisis Kekuatan Tangki Penyimpanan *Crude Oil* 38T-104 Berbentuk Silinder dengan Tipe *External Floating Roof* pada PT Pertamina RU IV Cilacap

Ilham Fathony Akbar<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Imam Pujo Mulyatno<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*</sup>[ilhamfathonyakbar@gmail.com](mailto:ilhamfathonyakbar@gmail.com), [hartono.yudo@yahoo.com](mailto:hartono.yudo@yahoo.com), [pujomulyatno2@gmail.com](mailto:pujomulyatno2@gmail.com)

### Abstrak

Tebal pelat dinding tangki penyimpanan *crude oil* 38T-104 kapasitas 120.000m<sup>3</sup> mempengaruhi besar tegangan maksimal akibat beban yang diterima. Penelitian ini menguji kekuatan struktur tangki dengan standar API 650 untuk mendapatkan tegangan maksimal dari pembebanan dan menjadi referensi dalam pengembangan perancangan tangki selanjutnya. Penelitian ini menggunakan software berbasis metode elemen hingga dengan variasi pembebanan terpisah dan dikombinasikan untuk mendapatkan tegangan maksimal. Beban yang digunakan yaitu angin, gempa statik dan hidrostatis dengan perhitungan UBC 1997 volume 2. Ketebalan pelat dinding divariasikan dengan penambahan dan pengurangan ketebalan menjadi 4 variasi perbandingan yaitu kondisi asli, 35,3 mm, 21,9 mm dan 9,52 mm. material yang digunakan adalah ASTM A537 CL2 mod dan A283 Gr C untuk pelat dan ASTM A36 untuk profil. Hasil penelitian menunjukkan tegangan yang melebihi yield strength material 415 MPa pada model variasi 4 dengan tegangan maksimal 1060 MPa dan pada model variasi 3 dengan tegangan maksimal 467 MPa. Sedangkan tegangan maksimal pada model variasi 1 dan variasi 2 tidak melebihi batas yield strength dengan nilai tegangan 393 MPa dan 282 MPa.

Kata Kunci : Kekuatan, Tangki Penyimpanan, *Crude Oil*, *External Floating Roof*

### 1. PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan salah satu sumber energi utama yang sering digunakan oleh masyarakat umum maupun industri. Minyak mentah ini harus diolah melalui proses *refinery* agar menjadi produk siap pakai. Pentingnya peran minyak bumi dalam kelangsungan hidup manusia maka minyak bumi selalu dikembangkan agar bisa memaksimalkan fungsinya agar lebih efisien.

Tangki adalah tempat penyimpanan yang dipakai pada industri pengilangan dan perminyakan khususnya pada penerimaan, penimbunan dan pendistribusian (P3). Tangki penyimpanan menjaga kelancaran ketersediaan minyak mentah untuk diolah maupun produk jadi yang sudah siap untuk dimanfaatkan. Selain itu, tangki dapat menjaga produk minyak atau bahan baku minyak mentah dari kontaminan yang mempengaruhi kemurnian minyak. Pada jurnal perancangan tangki Perancangan Tangki *Stainless*

*Steel* untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni menghasilkan analisis perhitungan didapatkan bahwa tegangan pada tangki yang dirancang masih memenuhi syarat karena tegangan ijin tangki lebih besar dari tegangan akibat beban statis, tegangan circumferensial, dan tegangan longitudinal[1].

Ada beberapa jenis tangki sesuai dengan fungsi dari masing – masing tangki seperti untuk menyimpan cairan, gas, tempat untuk penyimpanan dalam waktu panjang dan pendek, dingin atau dipanaskan, menggunakan beban statis atau beban dinamis, bisa vertikal atau horizontal, diatas tanah, semi bawah tanah atau dibawah tanah, bekerja dalam vakum atau tekanan, terpengaruh kondisi geografi seperti gempa atau pengaruh suhu tinggi. Kebanyakan tangki yang digunakan adalah diatas tanah dengan struktur silinder dengan macam - macam jenis atap. Beberapa tidak memiliki atap tapi memiliki wind girder dibagian luar, beberapa ada yang menggunakan stiffening

ring untuk mencegah *buckling* karena beban angin[2].

Jurnal yang berjudul *design of a floating roof crude oil storage tank of 100.000 BPD capacity and prototype fabrication* oleh Wukaria University dan University of Science and Technology Nigeria menunjukkan dari hasil desain dengan standar API 650 (2007), API 2000 (1998) ASME 7 standards (2005,2007), BS 2654(1989), NFPA 15 (2007), *Petronas technical specification*(PTS). Regulasi tersebut untuk menyelesaikan *shell stress analysis, roof stress design, selection of roof fitting, sizing of roof fitting, seal, venting dan evaporation control*. Pada *shell stress analysis* menghasilkan tebal pelat minimal dan ketebalannya berkurang sesuai *course* keatas dan tetap menggunakan *anchorage* untuk beban gempa meskipun dengan beban angin struktur tangki masih stabil[3].

Pada penelitian Studi Perilaku Tangki Minyak Pelat Baja Terhadap Beban Internal dan Beban Seismik menjelaskan bahwa semakin tinggi zona wilayah gempa sebuah tangki pelat baja maka semakin banyak material pelat baja yang digunakan dan semakin besar beban dinamik total yang bekerja. Beban gempa yang dominan pada tangki adalah beban gempa vertikal[4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan beban dengan tegangan maksimal tangki. Tegangan yang bekerja pada tangki harus lebih kecil dari syarat tegangan maksimal atau tegangan elastis sehingga kemampuan tangki harus lebih besar dari beban-beban yang diterima oleh tangki. Dengan demikian, desain tangki penyimpanan dapat dikatakan aman. Harapannya, hasil dari analisa kekuatan ini dapat menjadi rekomendasi atau referensi dalam pertimbangan spesifikasi *external floating roof tank* yang tepat. Data akan diolah menggunakan *software* elemen hingga.

## 2. METODE

Pada tahapan awal yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data-data tangki timbun untuk membuat model dan data - data tentang lingkungan yang akan disesuaikan kondisinya. Data tersebut akan digunakan dalam penelitian yaitu data di Cilacap dan pengkondisian macam - macam pembebanan. Untuk data tangki yang didapatkan adalah *General View, Upper shell plate, Orientation View*, dan *wind girder* dari PT. Pertamina RU IV Cilacap. Data yang didapat kemudian diolah menggunakan *software* elemen hingga sesuai dengan data konfigurasi tangki. Pembebanan yang digunakan adalah beban angin, gempa statik dan hidrostatis.

Hasil Analisa yang diharapkan adalah tegangan maksimal dari variasi beban yang diberikan.

### 2.1 Pengumpulan Data Tangki

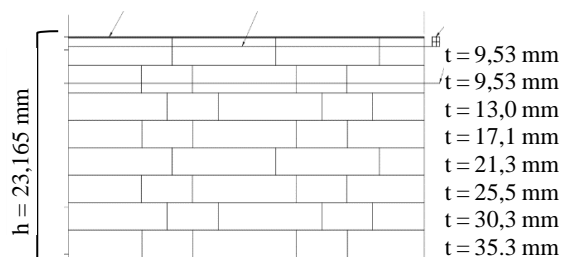
Tabel 1. Data Ukuran Tangki

Nama	Ukuran
Diameter	84 m
Tinggi	23,165 m
Kapasitas	120.000 m <sup>3</sup>
<i>Design liquid level</i>	21,8 m

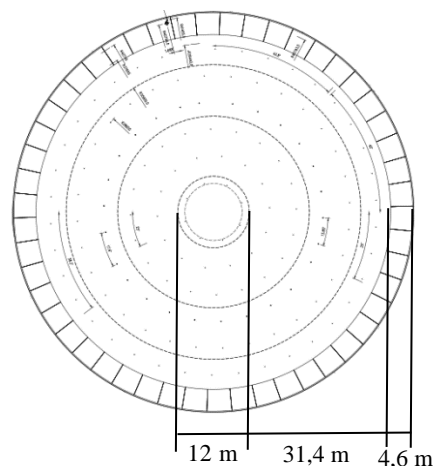
Data pada tabel 1 akan dibuat model 3D pada *software* untuk dianalisis kekuatannya. Terjadi variasi perubahan pada tebal pelat dinding untuk mengetahui keamanan dari kekuatan struktur tangki tiap variasi ketebalan pelat dinding.

Data *general view* dan *orientation view* tangki membantu dalam menggambarkan secara umum keseluruhan tangki yang akan dimodelkan sehingga memudahkan pemahaman dari peneliti. Seluruh bagian tangki dan ukurannya ditampilkan pada gambar 1 dan gambar 2.

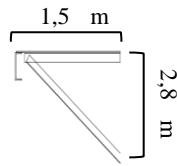
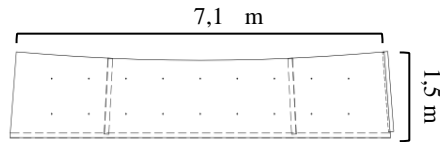
Pada gambar 3 dan gambar 4 menunjukkan data konstruksi dinding yang digunakan adalah *upper* pelat dinding tangki dan *wind girder*. Data ini menampilkan detail dari ukuran pelat dinding tangki, ketinggian setiap *shell course* dan konstruksi *wind girder* yang ada pada *shell course* 7 dan 8.



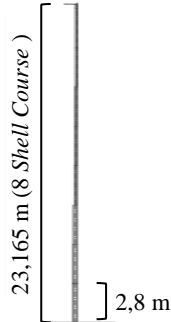
Gambar 1. General View



Gambar 2. Orietation View



Gambar 3. Wind Girder



Gambar 4. Upper Pelat Dinding

## 2.2 Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada efek yang ditimbulkan oleh perubahan tebal pelat dinding dan variasi pembebanan tangki. Penelitian ini disimulasikan untuk mendapatkan tegangan maksimal dari struktur :

Parameter yang tetap:

1. Tinggi tangki
2. Diameter tangki
3. Jumlah *shell course*
4. Jenis material

Parameter yang berubah :

1. Ketebalan pelat dinding
2. Pembebanan kombinasi

## 2.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium konstruksi departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Undip di Jl Prof Soedarto SH. Semarang Jawa Tengah.

## 2.4 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah seperangkat komputer yang sudah memiliki elemen hingga. Bahan yang digunakan adalah data-data tangki timbun *crude oil* 38T-104 PT. Pertamina RU IV Cilacap.

## 2.5 Pengolahan Data

Data yang sudah didapatkan selanjutnya diolah untuk persiapan dianalisa. Tahapan pengolahan data meliputi:

1. Pembuatan model 3D menggunakan *software* elemen hingga dengan menggunakan data-data gambar yang sudah didapatkan
2. Perhitungan beban-beban lalu dimasukan hasil perhitungannya ke *software*
3. Menentukan *boundary conditions*
4. Menjalankan analisa dari *software*

## 2.6 Pembuatan Model dan Analisa Tangki

Pembuatan model 3D menggunakan data-data gambar tangki yang sudah didapatkan dari PT. Pertamina RU IV Cilacap menggunakan *software* elemen hingga. Untuk membuat model pada *software* ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

1. Menentukan *point-point* dan mengabungkan *point-point* tersebut menjadi beberapa kurva.
2. Membuat *surface* dari kurva-kurva yang sudah ada
3. Memasukan nilai beban – beban dan *boundary conditions*
4. *Meshing* model menjadi beberapa elemen
5. Analisa tangki dengan metode numerik elemen hingga

Ada 4 macam variasi yang digunakan yaitu:

1. Ketebalan pelat dinding sesuai dengan data
2. Ketebalan pelat dinding 35,3 mm
3. Ketebalan pelat dinding 21,3 mm
4. Ketebalan pelat dinding 9,53 mm

Tabel 2. Variasi Tebal Pelat

Bagian	Variasi 1(mm)	Variasi 2(mm)	Variasi 3(mm)	Variasi 4(mm)
<i>Roof</i>	5	5	5	5
<i>Wind Girder</i>	12	12	12	12
<i>Course 8</i>	9,53	35,3	21,3	9,53
<i>Course 7</i>	9,53	35,3	21,3	9,53
<i>Course 6</i>	13	35,3	21,3	9,53
<i>Course 5</i>	17,1	35,3	21,3	9,53
<i>Course 4</i>	21,3	35,3	21,3	9,53
<i>Course 3</i>	25,5	35,3	21,3	9,53
<i>Course 2</i>	30,3	35,3	21,3	9,53
<i>Course 1</i>	35,3	35,3	21,3	9,53
<i>Bottom</i>	10	10	10	10
<i>Annular Bottom</i>	24	24	24	24

## 2.7 Perhitungan Beban

Beban yang digunakan adalah beban angin, beban hidrostatis dan gempa statik ekuivalen. Beban mati atau beban struktur juga diaplikasikan terhadap bangunan. Macam-macam beban tersebut akan diaplikasikan secara terpisah dan dikombinasi agar mengetahui besar pengaruh setiap beban terhadap struktur yang telah disimulasikan terhadap model.

### 2.7.1 Beban Mati

Beban mati atau beban struktur adalah beban yang timbul dari berat struktur itu sendiri. Semakin banyak struktur yang dibangun maka beban mati menjadi semakin besar. Beban mati ini bergantung pada tumpuan struktur yang dibawahnya sehingga pada bangunan yang tinggi pondasi dan struktur bagian bawah bangunan harus kokoh agar dapat menopang berat bangunan keseluruhan. Gaya berat bangunan dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$W = m g \quad (1)$$

Dimana W adalah gaya berat (N), m adalah massa seluruh struktur (kg) dan g adalah percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ ).

### 2.7.2 Beban Angin

Beban yang bekerja akibat pergerakan udara dengan kecepatan tertentu dan mengenai bangunan. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam besar beban angin terhadap bangunan adalah kecepatan angin, kepadatan udara, permukaan bidang, dan bentuk dari gedung[5]. Regulasi yang digunakan untuk menentukan beban angin adalah UBC 1997[6].

$$WL = P \times Av \quad (2)$$

$$P = Ce Cg qs Iw \quad (3)$$

Dimana WL adalah beban angin (kN) dan P adalah tekanan velositas ( $kN/m^2$ ), Av adalah luas Bidang ( $m^2$ ) dan Ce adalah *combined height, exposure and gust factor coefficient*(table 16-G UBC 1997) dan Cg adalah *pressure coefficient for the structure or portion of structure under construction* (table 16-H UBC 1997), qs adalah *wind stagnation pressure* (table 16-F UBC 1997) dan Iw adalah *importance factor* (table 16-K UBC 1997).

### 2.7.3 Beban Hidrostatis

Ketika fluida berada dalam wadah, fluida memberikan gaya dan tekanan yang terhadap seluruh permukaan kontakannya[7]. Besar beban ini dipengaruhi oleh jenis fluida dan kedalaman fluida tersebut.

$$P = \rho . g . h \quad (4)$$

Dimana P adalah tekanan dalam tangki ( $N/m^2$ ) dan  $\rho$  adalah massa jenis produk ( $kg/m^3$ ), g adalah percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ ) dan h adalah Kedalaman fluida (m).

### 2.7.4 Beban Gempa

Pada metode ini dianggap bahwa gaya horizontal yang disebabkan oleh gempa bekerja pada suatu struktur, besar nilai beban gempa ditentukan dari perkalian antara suatu konstanta berat atau massa dari elemen struktur tersebut[8]. Metode ini disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*). Regulasi yang digunakan untuk menentukan beban gempa statik adalah UBC 1997.

$$V_{design} = \frac{Cv . I}{R . T} W \quad (5)$$

$$V_{maks} = \frac{2,5 . Ca . I}{R} W \quad (6)$$

$$V_{min} = 0,11 . Ca . I . W \quad (7)$$

Dimana T adalah periode gempa (s) dan Cv adalah *seismic coefisien*, I adalah faktor keutamaan dan R adalah faktor reduksi gempa, W adalah berat total gedung (kg) dan Ca adalah *seismic coefisien*, V adalah *seismic load* (kg)

Tabel 3 Nilai Pembebanan

No	Beban	Gaya/Tekanan	Satuan
1	Angin	24,26	kN
2	Gempa		
	- Course 8	47,48	kN
	- Course 7	39,30	kN
	- Course 6	36,62	kN
	- Course 5	40,13	kN
	- Course 4	39,98	kN
	- Course 3	35,88	kN
	- Course 2	28,41	kN

- Course 1	16,45	kN
3 Hidrostatik		
- Course 8	0,02	MPa
- Course 7	0,04	MPa
- Course 6	0,06	MPa
- Course 5	0,09	MPa
- Course 4	0,11	MPa
- Course 3	0,14	MPa
- Course 2	0,16	MPa
- Course 1	0,19	MPa
- Bottom	0,19	MPa
4 Struktur		
-Variasi 1	38,51	kN
-Variasi 2	65,58	kN
-Variasi 3	40,51	kN
-Variasi 4	19,43	kN
5 Kombinasi		
- Hidrostatik, Angin dan Gempa		

## 2.8 Material Struktur

Material struktur yang digunakan pada tangki ini berdasarkan aturan API 650[9] yaitu ASTM A36, ASTM A537 CL2 dan ASTM A283 Gr C.

Tabel 4. Spesifikasi Material

Material Properties	A 36	A537	A283
Density(kg/m <sup>3</sup> )	7800	7800	7800
Young Modulus(GPa)	200	200	190
Poison Ratio	0,26	0,29	0,29
Shear Modulus(GPa)	75	80	73
Min Yield Strength (MPa)	250	415	205
Min Tensile Strength (MPa)	500	550	380

## 2.9 Menentukan Safety Factor

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat keamanan suatu struktur terhadap beban yang diterima. Semakin besar faktor keamanannya maka semakin aman struktur tersebut dalam beroperasi.

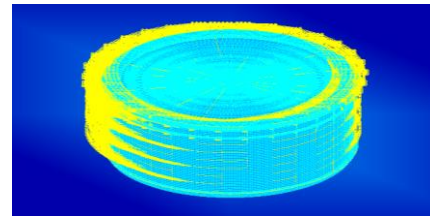
$$SF = \frac{S_y}{\delta_{maks}} \quad (8)$$

Dimana SF adalah *safety factor*,  $S_y$  adalah *yield strength* (MPa) dan  $\delta_{maks}$  adalah tegangan maksimal (MPa).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Model Tangki pada Software

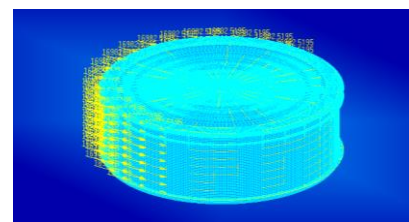
Model 3D tangki yang dibuat berbentuk silinder dengan memiliki 8 *shell course* dengan total ketinggian tangki 23,165 m. Bagian atas tangki terdapat atap dengan diameter 84 m sesuai dengan diameter tangki yang tersusun dari pelat baja dan profil. Terdapat *wind girder* pada sisi tangki melingkari tangki terletak pada *course 8* dan *course 7*.



■ = Gaya

Gambar 3. Pembebanan Gempa Statik

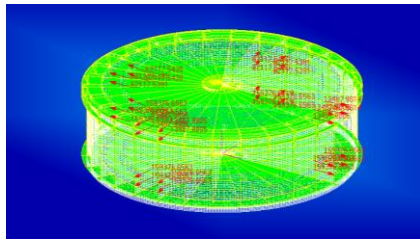
Pembebanan yang digunakan adalah beban hidrostatik, beban angin dan beban gempa statik ekuivalen. Gempa statik ekuivalen adalah metode analisa gaya gempa statis berupa gaya geser pada dasar dan distribusikan secara vertikal geser setiap ketinggian lantai seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 yang berwarna kuning pada model tangki. Beban angin merupakan beban dari tekanan udara yang memiliki kecepatan 35 m/s atau 126 km/hr. Gaya dorong angin ditunjukkan dengan warna kuning hanya pada salah satu sisi tangki pada gambar 2. Beban hidrostatik merupakan tekanan fluida berupa minyak mentah yang ada didalam tangki berkapasitas 120.000 m<sup>3</sup>. Gambar 3 menunjukkan panah warna merah merupakan arah tekanan minyak pada dinding-dinding tangki.



■ = Gaya

Gambar 4. Beban Angin pada Dinding Tangki

*Displacement constraint* pada bagian bottom tangki pada sumbu X, Y dan Z sehingga bagian bottom tidak terpengaruh beban seperti yang ditunjukkan pada tabel 5 dan dilanjutkan *meshing* untuk dibagi menjadi beberapa elemen.



■ = Tekanan

Gambar 5. Beban Hidrostatik.

Tabel.5. Displacement Constraint

Bagian	X	X	Z
Bottom	Fix	Fix	Fix

### 3.2 Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dibuat telah sesuai[10]. Cara yang dilaksanakan adalah membandingkan hasil tegangan *circumferensial* dari analisa *software* dan rumus perhitungan mekanika teknik. rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\sigma_c = P \cdot D_o / 2t \quad (9)$$

Dimana  $\sigma_c$  adalah tegangan *circumferensial* (MPa),  $D_o$  adalah diameter luar (m) dan  $t$  adalah tebal pelat (m)

Tabel.6. Koreksi Validasi

Metode	Nilai	Satuan
Perhitungan rumus	227	MPa
Analisa <i>software</i>	235	MPa
Koreksi	3,36	%

Tegangan *circumferensial* yang dianalisa adalah model variasi 2 akibat beban hidrostatik dengan koreksi 3,36%

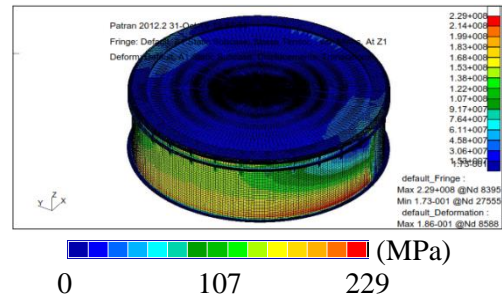
### 3.3 Tabel dan Gambar

Tabel 7. Hasil Pembebanan Angin

Model	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
Variasi 1	182,00	415,00	Aman
Variasi 2	64,70	415,00	Aman
Variasi 3	105,00	415,00	Aman
Variasi 4	229,00	415,00	Aman

Pada tabel 7 menunjukkan bahwa variasi 4 memiliki tegangan tangki tertinggi saat terkena beban angin pada pelat dinding. Dibanding dengan

variasi yang lain variasi 2 memiliki tegangan maksimal terkecil karena memiliki ketebalan pelat yang paling besar.



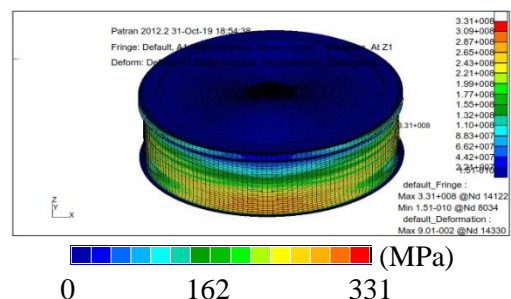
Gambar 7. Tegangan Maksimal Tangki Variasi 4 Akibat Beban Angin Sebesar 229 MPa

Gambar 7 menunjukkan model 3D variasi 4 dengan indikator tegangan maksimal berwarna merah yang paling tinggi dan warna biru yang paling rendah diakibatkan oleh beban angin. Tegangan yang terjadi hanya pada satu sisi saja karena gaya dorong angin diaplikasikan pada satu sisi tangki.

Tabel 8. Hasil Pembebanan Gempa Statik

Model	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
Variasi 1	192,00	415,00	Aman
Variasi 2	79,00	415,00	Aman
Variasi 3	131,00	415,00	Aman
Variasi 4	331,00	415,00	Aman

Pada tabel 8 menunjukkan tegangan maksimal tangki saat terkena beban gempa statik. Dari 4 macam variasi model tegangannya memiliki nilai semakin tinggi karena ketebalan pelat semakin kecil.



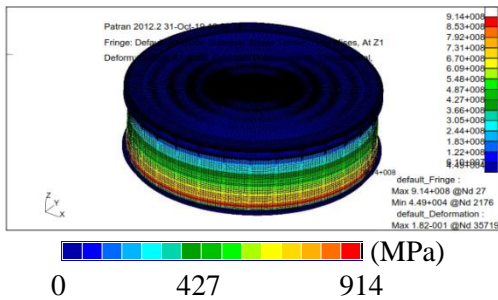
Gambar 8. Tegangan Maksimal Tangki Variasi 4 Akibat Beban Gempa Statik Sebesar 331 MPa

Gambar 8 menunjukan model 3D dengan indikator tegangan maksimal berwarna merah pada bagian *course* 1 dan 2 dan hampir seluruh bagian tangki memiliki kenaikan nilai tegangan.

Tabel 9. Hasil Pembebanan Hidrostatik

Model	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
Variasi 1	241,00	415,00	Aman
Variasi 2	235,00	415,00	Aman
Variasi 3	403,00	415,00	Aman
Variasi 4	914,00	415,00	Bahaya

Pada tabel 9 menunjukkan tegangan maksimal tangki saat terkena tekanan hidrostatik pada pelat dinding. Dari 4 macam variasi model tegangan terbesar pada variasi 4 yang melebihi *yield stress* material dan dianggap berbahaya.

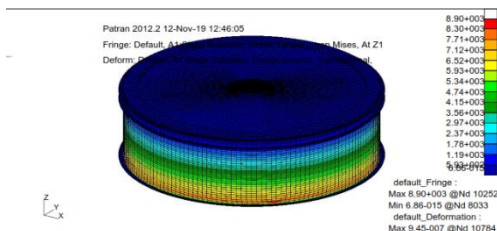


Gambar 9. Tegangan Maksimal Tangki Variasi 4 Akibat Beban Hidrostatik Sebesar 914 MPa

Gambar 9 menunjukkan model dengan tegangan yang sejajar secara horizontal sesuai ketinggian minyak karena ketinggian minyak mempengaruhi besar tekanan yang diberikan terhadap dinding tangki.

Tabel 10 Hasil Beban Mati

Model	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
variasi 1	0,00	415,00	aman
variasi 2	0,01	415,00	aman
variasi 3	0,01	415,00	aman
variasi 4	0,01	415,00	aman



Gambar 10. Warna Indikator Tegangan Beban Mati dari Struktur

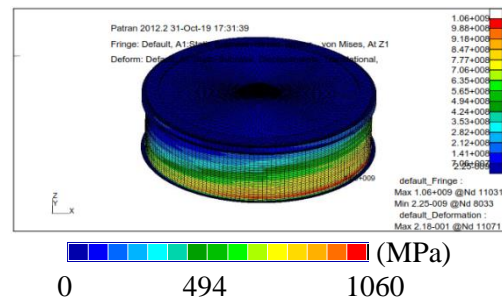
Gambar 10 menunjukkan indikator tegangan berdasarkan warna. Dalam model tersebut menunjukkan bahwa tegangan tertinggi pada bagian pelat dinding course 1 karena berada pada bagian

paling bawah dan ketebalan pelat dinding yang seragam. Nilai beban struktur tangki tidak terlalu signifikan.

Tabel.11. Hasil Pembebanan Kombinasi

Model	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
Variasi 1	393,00	415,00	Aman
Variasi 2	282,00	415,00	Aman
Variasi 3	467,00	415,00	Bahaya
Variasi 4	1060,00	415,00	Bahaya

Pada tabel 11 merupakan tegangan maksimal tangki saat terkena beban kombinasi angin, hidrostatik dan gempa statik. Dari 4 macam variasi model tegangan terbesar pada variasi 4 yaitu 1060 MPa pada bagian pelat dinding dan tegangan terkecil pada variasi ke 2. Pada variasi 4 dengan beban kombinasi merupakan tegangan yang tertinggi dibandingkan dengan variasi beban yang lain karena gaya dan tekanan yang bekerja pada model tersebut lebih banyak dengan variasi model ketebalan dinding terkecil. Nilai tegangan pada variasi 3 dan 4 melebihi batas kemampuan material sehingga dianggap berbahaya. Sedangkan variasi 1 dan 2 masih dibawah toleransi kemampuan material dengan variasi 1 hampir mencapai nilai kemampuan material dalam menerima beban.



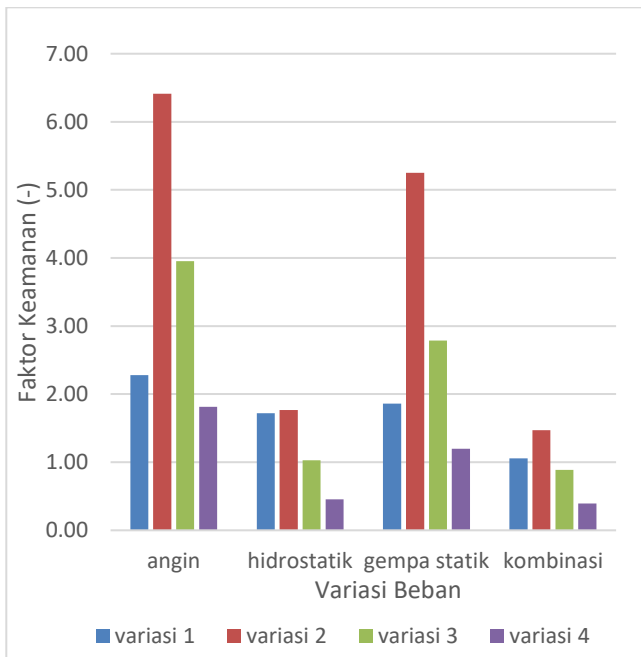
Gambar 11. Tegangan Maksimal Tangki Variasi 4 Akibat Beban Kombinasi Sebesar 1060 MPa

Gambar 11 menunjukkan model variasi 4 dengan variasi tebal dinding tangki terkecil dan diberikan beban kombinasi. Tegangan tertinggi ada pada bagian *course 1* dilanjut ke *course* bagian diatasnya semakin kecil tegangannya karena bagian *course 1* mengalami beban terbesar dari hidrostatik.

### 3.4 Grafik Hasil Analisis

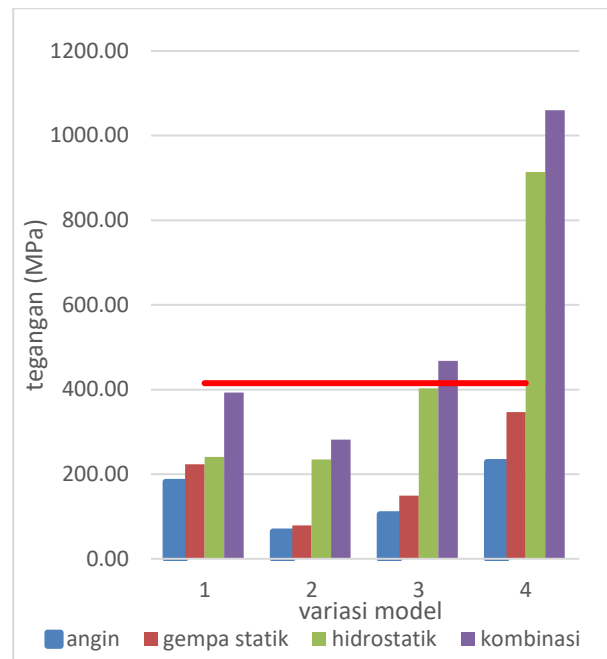
Tabel.12. Faktor Keamanan dari Variasi Model dan Pembebanan

Model	Angin	Hidrostatik	Gempa Statik	Kombinasi
Variasi 1	2,28	1,72	2,61	1,06
Variasi 2	6,41	1,77	5,25	1,47
Variasi 3	3,95	1,03	3,17	0,89
Variasi 4	1,81	0,45	1,25	0,39

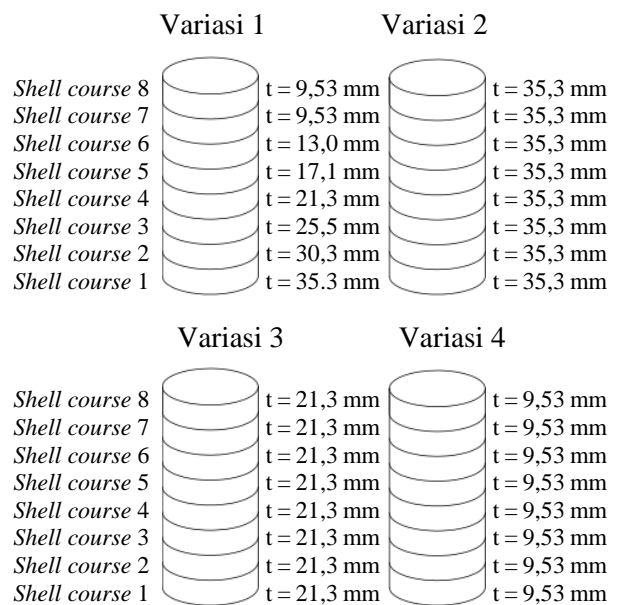


Gambar 12. Grafik Perbandingan Faktor Keamanan

Pada tabel 12 menampilkan faktor keamanan tiap variasi model dan pembebanannya. Dari kesimpulan tabel faktor keamanan terbesar pada variasi 2 dan faktor keamanan semakin kecil pada variasi 4. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa ada 3 variasi yang melebihi standar kemampuan material yaitu variasi 3 dan 4 pada pembebanan kombinasi dan variasi 4 pada beban hidrostatik. *safety factor* terkecil ada pada variasi 4 pembebanan kombinasi yaitu 0,39. Gambar 12 menunjukkan grafik perbandingan faktor keamanan dengan rata-rata faktor keamanan terbesar pada beban angin. Rata – rata faktor keamanan terkecil ada pada beban kombinasi dan variasi 3 dan variasi 4 melebihi batas faktor keamanan.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Tegangan Maksimal



Gambar 14. Variasi Tebal Pelat Dinding

Hasil seluruh data dapat dilihat pada gambar 13. yang dipaparkan menggunakan grafik diagram batang. Garis merah adalah batas standar *yield strength* material. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi yang memiliki rata-rata tegangan terkecil adalah variasi 2 dan variasi yang memiliki rata-rata tegangan terbesar adalah variasi 4. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil ketebalan pelat dinding seperti yang ditunjukkan pada gambar 14 maka tegangan yang timbul semakin besar. Gambar 14 menunjukkan ketebalan pelat dari macam-macam variasi. Variasi 1 memiliki ketebalan pelat dinding sesuai data desain. Variasi 2 memiliki variasi ketebalan pelat dinding tertinggi yaitu 35,3



mm. Variasi 3 memiliki variasi ketebalan pelat dinding lebih kecil dari variasi 2 yaitu 21,3 mm. Variasi 4 memiliki variasi ketebalan pelat dinding terkecil yaitu 9,53 mm.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil dari Analisa kekuatan tangki penyimpanan *crude oil* 38T-104 berbentuk silinder dengan kapasitas 120.000 m<sup>3</sup>. Tangki ini memiliki 4 macam variasi ketebalan pelat dinding. Pembebanan yang digunakan adalah angin, gempa statik, hidrostatik dan kombinasi.

Pada pembebanan angin, hidrostatik dan kombinasi (angin, hidrostatik dan gempa statik) semakin tebal pelat dinding maka tegangan maksimal semakin kecil dengan signifikan di bagian pelat dinding. Beban yang memiliki pengaruh besar terhadap tegangan dinding tangki adalah beban hidrostatik.

Faktor keamanan yang kurang dari 1 yaitu melebihi batas *yield strength* terdapat 3 kondisi yaitu pada variasi 3 dengan beban kombinasi dan variasi 4 dengan beban kombinasi dan hidrostatik.

Hasil dari beban kombinasi menunjukkan bahwa model variasi 1 dan variasi 2 tidak melebihi batas *yield strength* material. Sedangkan variasi model 3 dan variasi 4 melebihi batas *yield strength* material.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Mahardhika and A. Ratnasari, "Perancangan Tangki Stainless Steel untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni," *Teknik Perpipaan*, vol. 3, pp. 39-46, 2018.
- [2] Gulin. M., Uzelac. I., Dolejš. J., Boko. I., "Design of Liquid-Storage Tank: Results of Software Modeling vs Calculations According to Eurocode," *Civil Osijek-e-GFOS*, vol 15, pp. 85-97, 2017 [online]. DOI: <https://doi.org/10.13167/2017.15.8> [Diakses 5 Mei 2019].
- [3] Wami. E. N., Onunwor. M. Wells., Chisa. S. Owhor., Etim. D. Jimmy., "Design of a Floating Roof Crude Oil Storage Tank of 100,000 bpd Capacity and Prototype Fabrication," *Mechanical Engineering*, vol. 4, pp. 318-329, 2017.
- [4] Fathoni. I. N., Studi Perilaku Tangki Minyak Pelat Baja Terhadap Beban Internal dan Beban Seismik, Universitas Indonesia, 2011.
- [5] Ritalaksmiastari, "Beban Pada Bangunan," 2013.[Online].DOI: <https://ritalaksmiastari.wordpress.com/2013/04/21/bebanbangunan/>. [Diakses:15 Mei 2019].
- [6] International Conference Of Building Officials, UBC 1997 Vol 2:Structural Design Requirements, Whittier: ISBN, 2000.
- [7] Munson. R. Bruce., Young. F. Donald., and Okiishi. H. Theodore., *Mekanika Fluida Jilid I*, Jakarta: Erlangga, 2004.
- [8] Salim. Afif., and Siswanto. B. Agus., *Rekayasa Gempa*, Yogyakarta : K-media, 2018.
- [9] A, P, Institute, *API 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage*, Washington: Errata, 2012.
- [10] Karisma. I. M. Wira., Mulyatno. I. Pujo., and Rindo. Good., "Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Mesin dengan Interaksi Trust Block pada Kapal Ferry 500 gt dengan Metode Elemen Hingga," *Teknik Perkapalan*, vol.5, pp. 10-19, 2017.