



Analisis Kekuatan Tangki Silinder 38T-104 PT. Pertamina RU IV Kapasitas 120.000 m³ Dengan Variasi Diameter Tangki

Fitriningsi¹⁾, Hartono Yudo²⁾ Ahmad Fauzan Zakki³⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}Fitriningsi@gmail.com, hartono.yudo@yahoo.com, ahmadfzakki@yahoo.com

Abstrak

Tangki silinder memiliki diameter yang cukup besar. Tangki penimbun harus melewati fase perancangan yang disesuaikan dengan kebutuhan, sebelum dibangun untuk pemanfaatan lahan yang terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai tegangan maksimal pada setiap pengurangan diameter tangki Silinder 38T-104 dan pembebanan yang diaplikasikan pada model sesuai standar API 650 sehingga, bisa menjadi referensi dalam pengembangan perancangan tangki selanjutnya. Penelitian ini menggunakan software berbasis metode elemen hingga dengan 3 variasi diameter tangki 84 m, 79 m, 74 m dan 7 variasi beban hidrostatis, angin, gempa, kombinasi hidrostatis angin, kombinasi hidrostatis gempa, kombinasi gempa angin dan kombinasi semua beban. Standart yang digunakan untuk perhitungan beban adalah SNI 2012 dan SNI 2013. Validasi model tangki menggunakan tegangan circumferensial. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada pembebanan hidrostatis dan pembebanan gempa hasil tegangan semakin kecil di setiap pengurangan diameter tangki karena memiliki tebal pelat yang besar di setiap dinding tangki. Sedangkan hasil pembebanan angin menimbulkan tegangan yang besar di setiap pengurangan diameter tangki karena beban yang besar. Hasil dari kombinasi semua beban menunjukkan bahwa model tangki dengan diameter 84 m tebal pelat sesuai perhitungan dengan nilai tegangan 432 MPa melebihi batas yield strength material di anggap berbahaya yang ditentukan dalam standart API 650

Kata Kunci : Diameter Tangki, Kekuatan Tangki Silinder, Tangki Penyimpanan, API 650

1. PENDAHULUAN

Tangki adalah tempat penyimpanan yang dipakai pada industri pengilangan dan perminyakan khususnya pada penerimaan, penimbunan dan pendistribusian (P3). Tangki penyimpanan tidak hanya menjadi tempat penyimpanan untuk produk dan bahan baku. Selain itu tangki juga dapat menjaga produk atau bahan baku dari kontaminan[1].

Ada berbagai macam model tangki sesuai dengan kegunaannya seperti untuk menyimpan cairan, gas terkompresi, wadah untuk penyimpanan jangka panjang dan pendek – dingin atau dipanaskan, bias *vertical* atau *horizontal*, di atas tanah, semi bawah tanah atau di dalam tanah, membawa beban statis atau dinamis, bekerja dalam vakum atau tekanan berlebihan dari angin, gempa atau pengaruh suhu.

Perencanaan, konstruksi, dan manufaktur dari tangki penyimpanan baja biasanya dijalankan berdasarkan kode *American Petroleum Institute* (API). Struktur tangki harus dapat menerima berbagai macam kondisi pembebanan yang mungkin terjadi. Beban pada struktur tangki bergantung pada kegunaan, ukuran, tipe struktur, material, umur hidup rancangan, lokasi, dan lingkungan[2].

Tempat yang biasa digunakan sebagai penimbun minyak adalah tangki. Pada umumnya, tangki silinder memiliki diameter yang cukup besar. Sebelum dilakukan proses pembangunan, suatu tangki penimbun tentunya harus melewati fase perancangan yang disesuaikan dengan kebutuhan.[3].

Ketersediaan lahan pada industri yang dikelilingi oleh bangunan sangat terbatas seperti ditengah kota, kompleks industri dan pemukiman,

sehingga harus bias memanfaatkan ketersediaan lahan dengan efisien untuk pengembangan fasilitas industri. Efektifitas penggunaan lahan yang merupakan poin penting proses perencanaan desain mempertimbangkan berbagai hal yang dapat menjadi tolak ukur dalam menggunakan berbagai potensi serta memaksimalkan lahan yang sempit dengan desain yang fungsional[4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan maksimal pada setiap pengurangan diameter tangki dan pembebanan yang diaplikasikan pada model. Tegangan pada tangki harus memenuhi syarat tegangan ijin menurut standart API 650. Dengan demikian, desain tangki penyimpanan dapat dikatakan aman.

2. METODE

Pada tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data-data tangki *external floating roof* untuk membuat model dan data - data tentang lingkungan yang akan disesuaikan kondisinya. Untuk data tangki yang didapatkan adalah *General View* lengkap dan *Orientation View* dari PT. Pertamina RU IV Cilacap. Data yang didapat kemudian diolah menggunakan software elemen hingga sesuai dengan data konfigurasi tangki.

2.1. FEM

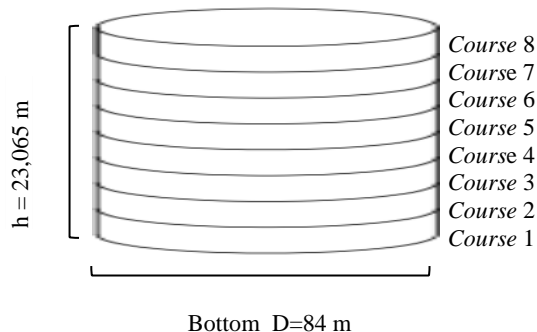
Metode elemen hingga adalah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan, dikenai gaya, beban dan tekanan[5]. *Finite Element Method* (FEM) membagi suatu benda yang akan dianalisa menjadi beberapa bagian dengan dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian – bagian ini disebut elemen, tiap elemen satu dengan yang lainnya terhubung dengan node. Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Hasil dari Analisa menggunakan metode elemen hingga adalah perubahan bentuk (*deformasi*) dan tegangan maksimal.

2.2. Pengumpulan Data Tangki

Tabel 1. Data Ukuran Utama Tangki

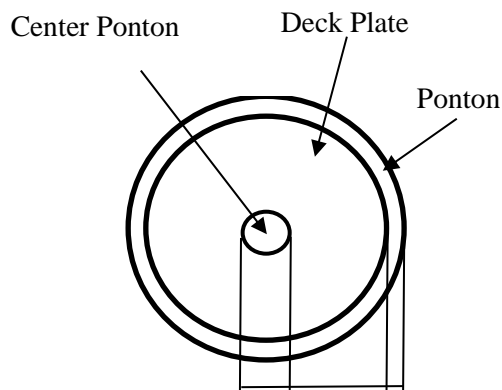
Nama	Ukuran
Diameter	84 m
Tinggi	23,065 m
Kapasitas	120.000 m ³
<i>Design liquid level</i>	21,8 m

Data pada tabel 1 akan diolah menjadi tiga variasi diameter dan tinggi tangki yang berbeda-beda dan dibuat model 3D pada *software* untuk dianalisis kekuatan strukturnya. Terjadi perubahan variasi pada pelat dinding tangki berdasarkan perhitungan API 650, regulasi API 650, data dan aktual.



Gambar 1. *General View* Tangki

Gambar 1 menjelaskan *general view* dari tangki yang terdiri konstruksi *bottom*, *annular bottom*, dan *shell course* tangki. Pada bagian dua *shell course* terakhir terdapat *wind girder*, *intermediate wind girder*, profil L dan C.



Gambar 2. *Orientation View* Tangki

Pada gambar 2 menjelaskan konstruksi bagian atap tangki yang terdiri dari *center ponton*, *deck plate* dan *ponton*. Dibagian atap tangki terdapat profil L dan C.

2.3. Parameter Penelitian

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

Parameter yang tetap:

1. Kapasitas tangki
2. Jenis Material

Parameter yang berubah :

1. Diameter tangki
2. Tinggi tangki
3. Jumlah *shell course*
4. Ketebalan pelat *shell course*
5. Pembebanan tangki

2.4. Lokasi Penelitian

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

2.5. Alat dan Bahan

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

2.6. Pengolahan Data

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

1. Perhitungan variasi diameter, tinggi dan jumlah *shell course* tangki.
2. Perhitungan variasi tebal pelat tangki berdasarkan perhitungan API 650, regulasi API 650, data dan aktual.
3. Pembuatan model 3D menggunakan *software* elemen hingga dengan menggunakan data-data gambar yang sudah ditentukan.
4. Perhitungan beban-beban lalu dimasukan hasil perhitungannya ke *software*
5. Menentukan *boundary conditions*
6. Menjalankan analisa dari *software*

2.7. 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 kurva dan menggabungkan *point – point* tersebut menjadi 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

2.8. Variasi Diameter dan Tinggi Tangki

Tabel 2. Variasi Diameter dan Tinggi Tangki

Parameter	Diameter (m)	Tinggi (m)	Shell Course
Tangki 1	84	23,065	8
Tangki 2	79	25,95	9
Tangki 3	74	28.85	10

Pada tabel 2 menjelaskan perbedaan diameter dan tinggi tangki dari masing-masing variasi, semakin kecil diameter tangki semakin tinggi tangki dan jumlah *shell course* semakin bertambah.

2.9. Ketebalan Pelat Dinding Tangki

Ketebalan pelat tiap *shell course* menurut perhitungan API 650 sebagai berikut.

$$t1d = \left(1,06 - \frac{0,0696D}{H} \sqrt{\frac{HG}{Sd}} \right) \left(\frac{4,9HDG}{Sd} \right) + CA \quad (1)$$

Dimana $t1d$ adalah desain ketebalan shell (m), D adalah nominal diameter tangki (m), H adalah desain ketinggian cairan (m), G adalah desain spesifik gravitasi fluida, Sd adalah tegangan yang diijinkan untuk kondisi desain (MPa)/ (N/mm²) dan CA adalah *Corrosion allowance* (mm).

Pada tabel 3 menjelaskan standart ketebalan pelat menurut API 650 ketebalan *shell* tidak boleh kurang dari:

Tabel 3. Nominal Ketebalan *Shell* Pelat Menurut Regulasi API 650

Nominal Diameter Tangki (m)	Nominal Ketebalan Pelat (mm)
$D < 15$	5
$15 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$D > 60$	10

Ada 3 variasi macam tebal pelat yang digunakan dalam penelitian ini dan dikelompokkan berdasarkan diameter tangki yaitu :

1. Ketebalan pelat *shell course* berdasarkan perhitungan (TP) API 650 dengan diameter 84 m, 79 m dan 74 m
2. Ketebalan pelat *shell course* berdasarkan regulasi (TR) API 650 dengan diameter 84 m, 79 m dan 74 m

3. Ketebalan pelat *shell course* berdasarkan data (TD) dengan diameter 84 m, 79 m dan 74 m

Tabel 4. Variasi Ketebalan Pelat Diameter 84 m
Tebal Pelat Tangki (m)

Bagian	tP	tR	tD
Course 1	0,0373	0,0373	0,0353
Course 2	0,0326	0,0326	0,0303
Course 3	0,0279	0,0279	0,0255
Course 4	0,0232	0,0232	0,0213
Course 5	0,0186	0,0186	0,0171
Course 6	0,0140	0,0140	0,013
Course 7	0,0095	0,01	0,0095
Course 8	0,0060	0,01	0,0095

Tabel 5. Variasi Ketebalan Pelat Diameter 79 m
Tebal Pelat Tangki (m)

Bagian	tP	tR	tD
Course 1	0.0395	0.0395	0.040
Course 2	0.0351	0.0351	0.038
Course 3	0.0306	0.0306	0.030
Course 4	0.0262	0.0262	0.028
Course 5	0.0218	0.0218	0.022
Course 6	0.0174	0.0174	0.018
Course 7	0.0131	0.0131	0.014
Course 8	0.0088	0.01	0.01
Course 9	0,0054	0.01	0.01

Tabel 6. Variasi Ketebalan Pelat Diameter 74 m
Tebal Pelat Tangki (m)

Bagian	tP	tR	tD
Course 1	0.0423	0.0423	0.045
Course 2	0.0381	0.0381	0.040
Course 3	0.0340	0.0339	0.038
Course 4	0.0298	0.0297	0.030
Course 5	0.0256	0.0256	0.028
Course 6	0.0215	0.0215	0.022
Course 7	0.0174	0.0173	0.018
Course 8	0.0133	0.0132	0.015
Course 9	0.0092	0.01	0.010
Course 10	0.0064	0.01	0.010

Pada tabel 4, 5 dan 6 menunjukkan variasi ketebalan pelat tangki berdasarkan perhitungan, regulasi Api 650 dan data yang dikelompokkan berdasarkan variasi diameter tangki. Perbedaan tebal pelat sesuai perhitungan dan regulasi bahwa minimal tebal pelat sesuai regulasi adalah 10 mm.

2.10. Perhitungan Beban Tangki

Beban yang diaplikasikan pada model adalah beban angin, beban hidrostatik dan gempa statik ekuivalen. Macam-macam beban tersebut akan diaplikasikan secara terpisah dan kombinasi berdasarkan diameter tangki agar mengetahui besar pengaruh setiap beban terhadap struktur yang telah disimulasikan terhadap model.

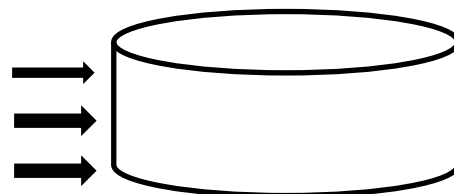
2.10.1 Beban Angin

Beban yang bekerja akibat pergerakan udara dengan kecepatan tertentu dan mengenai bangunan. Efek beban angin pada suatu struktur bergantung pada berat jenis dan kecepatan udara, bentuk dan kekakuan struktur, dan faktor – faktor lain. Semakin tinggi struktur gedung maka semakin besar beban angin yang terjadi pada struktur[6]. Regulasi yang digunakan untuk menentukan beban angin adalah SNI 1727:2013[7].

$$P = q [G C_{pf} - (G C_{pi})] \quad (2)$$

$$q = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (3)$$

Dimana P adalah beban angin tiap lantai (N/m^2), q adalah tekanan velositas pada setiap ketinggian lantai (kN/m^2), G adalah faktor tiupan angin, C_{pf} adalah koefisien tekanan eksternal dan C_{pi} adalah koefisien tekanan internal. K_z adalah Koefisien eksposur tekanan velositas, K_{zt} adalah faktor topografi, K_d adalah faktor arah angin dan V adalah kecepatan angin dasar.



Gambar 3. Arah Beban Angin

Gambar 3 menjelaskan arah penyebaran beban angin. Beban angin datang dari sisi samping tangki dan mengenai salah satu sisi.

Tabel 7. Nilai Pembebanan Angin

Course	Tekanan (Pa)		
	D=84 (m)	D=79 (m)	D=74 (m)
Course 1	214,29	214,29	214,29
Course 2	229,33	229,33	229,33
Course 3	259,41	259,41	259,41
Course 4	281,96	281,96	281,96
Course 5	300,76	300,76	300,76
Course 6	315,80	315,80	315,80
Course 7	330,84	330,84	330,84
Course 8	342,12	342,12	342,12
Course 9		357,15	357,15
Course 10			364,67

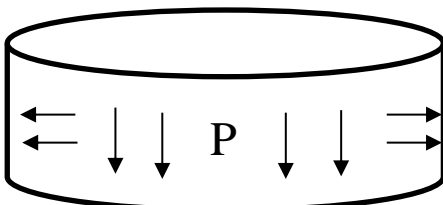
Pada tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan beban angin disetiap lantai yang dikelompokkan berdasarkan variasi diameter tangki.

2.10.2 Beban Hidrostatik

Ketika fluida berada dalam wadah, fluida memberikan gaya dan tekanan yang terhadap seluruh permukaan kontakannya[8]. Besar beban ini dipengaruhi oleh jenis fluida dan kedalaman fluida tersebut. Perhitungan dalam menentukan beban hidrostatik terdapat dalam buku Mekanika Fluida jilid 1.

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

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



Gambar 4. Arah Beban Hidrostatik

Pada gambar 4 menjelaskan penyebaran beban hidrostatik terhadap tangki. Beban hidrostatik menekan semua sisi dinding tangki (tekanan internal).

Tabel 8. Nilai Pembebanan Hidrostatik

Course	Tekanan (Mpa)		
	D=84 m	D=79 m	D=74 m
Course 1	0,18	0,21	0,24
Course 2	0,16	0,18	0,21
Course 3	0,14	0,16	0,19
Course 4	0,11	0,13	0,16
Course 5	0,09	0,11	0,14
Course 6	0,06	0,09	0,11
Course 7	0,04	0,06	0,09
Course 8	0,01	0,04	0,07
Course 9		0,01	0,04
Course 10			0,02

Pada tabel 8 menjelaskan hasil perhitungan beban hidrostatik disetiap ketinggian lantai yang menekan semua sisi dinding tangki.

2.10.3 Beban Gempa

Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*). 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[9]. Metode statik ekuivalen membagi beban secara vertikal berupa gaya dorong secara horizontal.

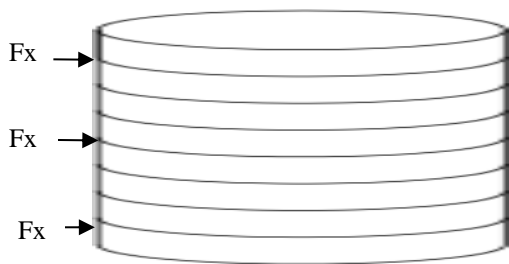
Dimana setiap variasi tebal pelat tangki mempunyai beban gempa yang berbeda-beda karena perhitungan beban gempa menggunakan berat total dari konstruksi dinding tangki.

Analisa statik ekuivalen hanya di diperbolehkan untuk bangunan yang beraturan (SNI 1726:2012). Salah satu ciri bangunan yang beraturan adalah ketinggian tidak lebih dari 40 m atau 10 tingkat yang diukur dari dasar. Regulasi yang digunakan untuk menentukan beban gempa statik ekuivalen adalah SNI 1726:2012[10]

$$F_X = C_{vx} \cdot V \quad (5)$$

$$V = C_s \cdot W \quad (6)$$

Dimana F_X adalah gaya gempa lateral (N), C_{vx} adalah faktor distribusi vertical dan V adalah gaya geser di dasar struktur (Kg). C_s adalah koefisien respon *seismic* dan W berat *seismic* efektif (Kg).



Gambar 5. Arah Beban Gempa Statik

Gambar 5 penyebaran beban gempa statik secara vertikal disetiap ketinggian lantai dengan nilai pembebanan berbeda - beda dengan gaya dorong secara horizontal.

Tabel 9. Nilai Beban Gempa Diameter 84 m
Gaya (kN)

Course	tP	tR	tD
Course 1	2,24	2,25	2,19
Course 2	3,87	3,88	3,78
Course 3	4,89	4,90	4,78
Course 4	5,45	5,46	5,32
Course 5	5,47	5,48	5,34
Course 6	4,99	5,00	4,88
Course 7	5,36	5,59	5,23
Course 8	9,07	9,35	8,86

Tabel 10. Nilai Beban Gempa Diameter 79 m
Gaya (kN)

Course	tP	tR	tD
Course 1	2,16	1,99	2,02
Course 2	3,86	3,55	3,86
Course 3	5,06	4,65	4,58
Course 4	5,77	5,31	5,70
Course 5	6,01	5,52	5,60
Course 6	5,76	5,30	5,50
Course 7	5,06	4,65	5,01
Course 8	4,98	5,07	5,10
Course 9	6,79	8,36	8,40

Tabel 9, 10 dan 11 menunjukkan hasil perhitungan nilai beban gempa statik diameter 84 m, 79 m dan 74 m dengan pengelompokan beban berdasarkan variasi tebal pelat tangki.

Tabel 11. Nilai Beban Gempa Diameter 74 m
Gaya (kN)

Course	tP	tR	tD
Course 1	1,99	1,85	1,97
Course 2	3,60	3,35	3,57
Course 3	4,81	4,48	5,02
Course 4	5,63	5,25	5,29
Course 5	6,06	5,64	6,17
Course 6	6,10	5,68	5,82
Course 7	5,77	5,37	5,57
Course 8	5,04	4,69	5,31
Course 9	5,02	4,98	4,99
Course 10	7,02	8,13	8,14

2.11. Material Struktur

Pada tabel 12 menjelaskan material struktur yang digunakan pada tangki ini berdasarkan aturan API 650 yaitu ASTM A36, ASTM A537 CL2 dan ASTM A283 Gr C.

Tabel 12. Spesifikasi Material

Material Properties	A 36	A537	A283
Density(kg/m ³)	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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Displacement Constraint

Displacement constraint pada bagian bottom tangki pada sumbu X, Y dan Z sehingga bagian bottom tidak terpengaruh beban seperti yang ditunjukkan pada tabel 13.

Tabel 13. Displacement Constraint

Bagian	X	Y	Z
Bottom	Fix	Fix	Fix

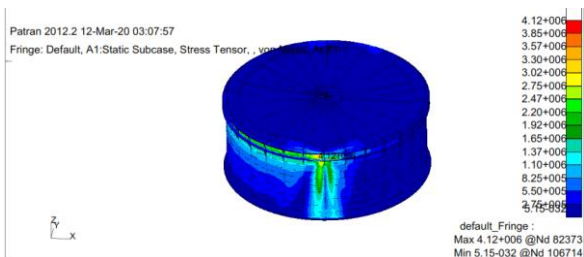
3.2 Hasi Pembebanan

3.2.1. Beban Angin

Tabel 14. Hasil Pembebanan Angin

Diameter Tangki (m)	Variasi Tebal Pelat	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
84	tP	3,48	415	Aman
	tR	2,68	415	Aman
	tD	3,19	415	Aman
79	tP	4,07	415	Aman
	tR	3,34	415	Aman
	tD	3,26	415	Aman
74	tP	4,12	415	Aman
	tR	3,57	415	Aman
	tD	3,42	415	Aman

Pada tabel 14 menjelaskan tegangan maksimal akibat beban angin bahwa semakin kecil diameter tangki maka tegangan yang ditimbulkan juga semakin besar akibat pembebanan angin yang semakin besar.



Gambar 6. Tegangan Maksimal Tangki Diameter 74 m Akibat Beban Angin

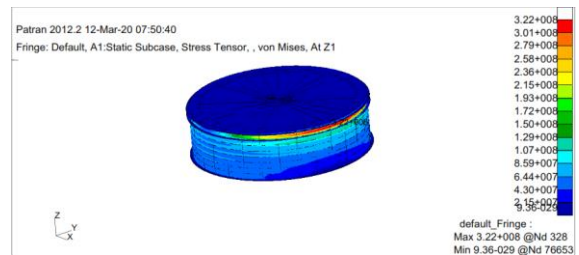
3.2.2. Beban Gempa Statik

Tabel 15. Hasil Pembebanan Gempa Statik

Diameter Tangki (m)	Variasi Tebal Pelat	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
84	tP	322	415	Aman
	tR	265	415	Aman
	tD	232	415	Aman
79	tP	201	415	Aman
	tR	180	415	Aman
	tD	175	415	Aman
74	tP	201	415	Aman
	tR	181	415	Aman
	tD	175	415	Aman

Pada gambar 9 menjelaskan tegangan yang dialami tangki akibat beban angin yang berhembus dari salah satu sisi tangki sehingga membuat tegangan hanya ada di salah satu sisi tangki saja.

Pada tabel 15 menjelaskan tegangan maksimal akibat beban gempa bahwa semakin kecil diameter tangki maka tegangan yang ditimbulkan juga semakin kecil. Karena ketebalan pelat tangki yang semakin tebal.



Gambar 7. Tegangan Maksimal Tangki Diameter 84m Akibat Beban Gempa Statik

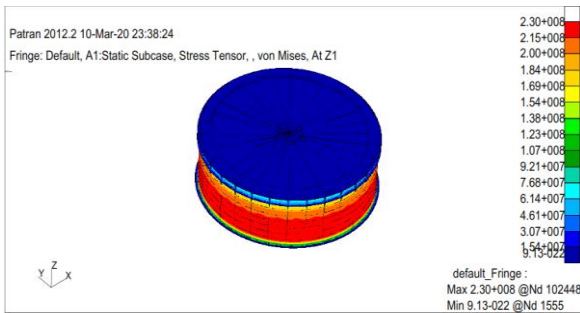
Gambar 7 menunjukkan Hasil runningan dari beban gempa pada diameter 84 m tebal pelat sesuai perhitungan menimbulkan tegangan maksimal tertinggi karena ketebalan pelatnya yang besar.

3.2.3. Beban Hidrostatik

Tabel 16. Hasil Pembebanan Hidrostatik

Diameter Tangki (m)	Variasi Tebal Pelat	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
84	tP	216	415	Aman
	tR	216	415	Aman
	tD	230	415	Aman
79	tP	215	415	Aman
	tR	215	415	Aman
	tD	208	415	Aman
74	tP	214	415	Aman
	tR	214	415	Aman
	tD	203	415	Aman

Tabel 16 menjelaskan tegangan maksimal akibat beban hidrostatik bahwa semakin kecil diameter tangki maka tegangan yang ditimbulkan juga semakin kecil. Hal ini karena semakin dalam ketinggian fluida maka pelat yang digunakan semakin tebal untuk menahan tekanan fluida yang semakin tinggi.



Gambar 8. Tegangan Maksimal Tangki Diameter 84 m Akibat Beban Hidrostatik

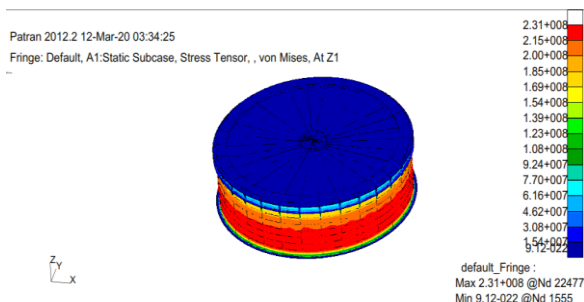
Pada gambar 8 menunjukkan hasil running dari beban hidrostatik menunjukkan persebaran beban yang menekan dinding tangki pada diameter 84 m tebal pelat sesuai data menimbulkan tegangan maksimal tertinggi karena ketebalan pelatnya yang besar.

3.2.4. Kombinasi Beban Hidrostatik Angin

Tabel 17. Hasil Pembebanan Kombinasi Hidrostatik Angin

Diameter Tangki (m)	Variasi Tebal Pelat	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
84	tP	216	415	Aman
	tR	216	415	Aman
	tD	231	415	Aman
79	tP	215	415	Aman
	tR	215	415	Aman
	tD	208	415	Aman
74	tP	214	415	Aman
	tR	214	415	Aman
	tD	203	415	Aman

Pada tabel 17 Menunjukkan tegangan maksimal akibat kombinasi beban hidrostatik-angin dengan tegangan maksimal 231 Mpa.



Gambar 9. Tegangan Maksimal Tangki Diameter 84 m Akibat Beban Hidrostatik Angin

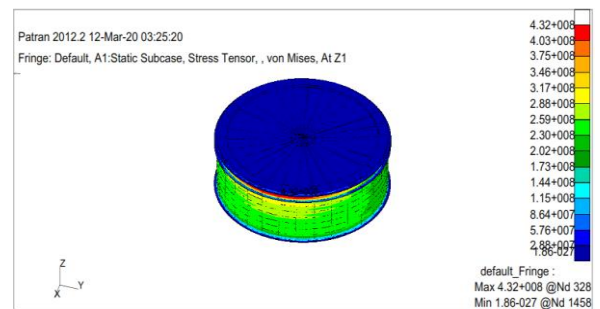
Gambar 9 menunjukkan hasil running dari beban hidrostatik angin menunjukkan tegangan maksimal pada diameter 84 m tebal pelat sesuai data.

3.2.5 Kombinasi Beban Hidrostatik Gempa

Tabel 18. Hasil Kombinasi Pembebanan Hidrostatik Gempa

Diameter Tangki (m)	Variasi Tebal Pelat	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
84	tP	432	415	Aman
	tR	295	415	Aman
	tD	311	415	Aman
79	tP	364	415	Aman
	tR	279	415	Aman
	tD	273	415	Aman
74	tP	338	415	Aman
	tR	281	415	Aman
	tD	270	415	Aman

Tabel 18 menjelaskan tegangan maksimal akibat kombinasi beban hidrostatik-gempa pada diameter 84 m tebal pelat sesuai perhitungan menghasilkan tegangan maksimal tertinggi yaitu 432 Mpa yang melebihi batas *yield streng* material dan di anggap berbahaya.



Gambar 10. Tegangan Maksimal Tangki 84 m Akibat Beban Hidrostatik Gempa

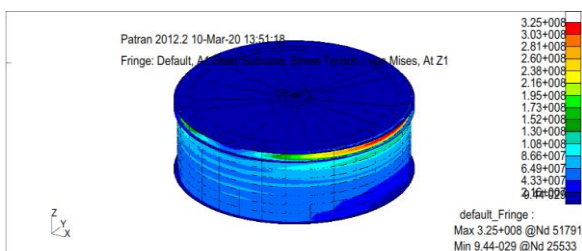
Pada gambar 10 hasil running dari beban hidrostatik gempa menunjukkan tegangan maksimal pada diameter 84 m tebal pelat sesuai data karena pengaruh tegangan dari beban gempa yang tinggi.

3.2.6 Kombinasi Beban Angin Gempa

Tabel 19. Hasil Kombinasi Pembebanan Angin Gempa

Diameter Tangki (m)	Variasi Tebal Pelat	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
84	tP	325	415	Aman
	tR	203	415	Aman
	tD	160	415	Aman
79	tP	268	415	Aman
	tR	181	415	Aman
	tD	182	415	Aman
74	tP	234	415	Aman
	tR	176	415	Aman
	tD	177	415	Aman

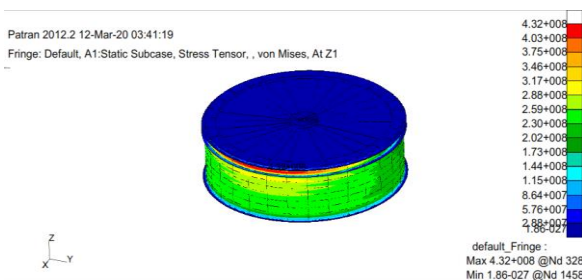
Pada tabel 19 menjelaskan tegangan maksimal akibat kombinasi beban angin-gempa 322 Mpa hampir sama dengan hasil tegangan beban gempa karena pengaruh tegangan dari beban angin yang kecil.



Gambar 11. Tegangan Maksimal Tangki Diameter 84 m Akibat Beban Angin Gempa

Pada gambar 11 menunjukkan hasil running dari beban angin-gempa menunjukkan tegangan maksimal pada diameter 84 m tebal pelat sesuai data karena pengaruh tegangan dari beban gempa yang tinggi.

3.2.6 Kombinasi Semua Beban



Gambar 12. Tegangan Maksimal Tangki Diameter 84 m Kombinasi Semua Beban

Gambar 12 menunjukkan Hasil running dari kombinasi semua beban menunjukkan tegangan maksimal pada D=84 tebal pelat sesuai data karena pengaruh beban hidrostatis dan gempa yang besar dari beban angin sehingga menghasilkan tegangan yang sama dengan beban hidrostatis-gempa.

Tabel 20. Hasil Kombinasi Semua Beban

Diameter Tangki (m)	Variasi Tebal Pelat	Max Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Syarat Bagian
84	tP	432	415	Bahaya
	tR	295	415	Aman
	tD	309	415	Aman
79	tP	364	415	Aman
	tR	279	415	Aman
	tD	273	415	Aman
74	tP	338	415	Aman
	tR	281	415	Aman
	tD	270	415	Aman

Tabel 20 menjelaskan Hasil dari kombinasi semua beban menunjukkan tegangan maksimal pada D=84 m tebal pelat sesuai perhitungan menghasilkan tegangan tertinggi 432 Mpa yang melebihi batas yield streng material dan di anggap berbahaya.

3.3. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dibuat telah sesuai[11]. Validasi yang digunakan adalah tegangan *circumferential* yang dibandingkan dengan hasil analisa *software* dan rumus perhitungan mekanika teknik. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

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

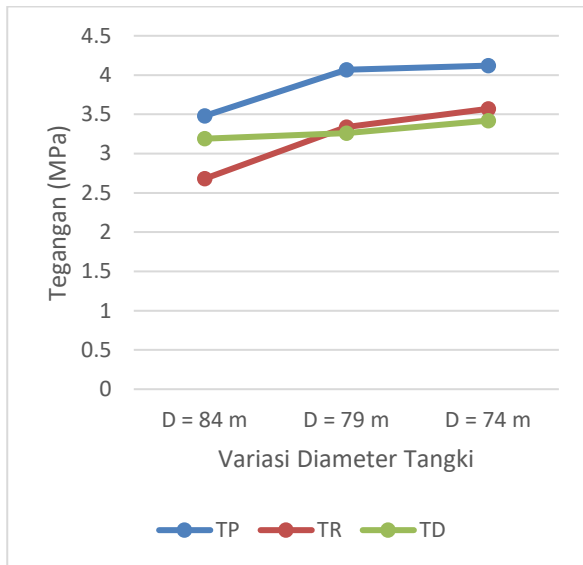
Dimana σ_c adalah tegangan *circumferential* (MPa), P adalah tekanan (Pa), D_o adalah diameter (m) dan t adalah tebal pelat (m).

Tabel 21. Koreksi Validasi Model Tangki

Nama	Nilai
Analisa Software (MPa)	208
Perhitungan Rumus (MPa)	208,6
Koreksi	0,31 %

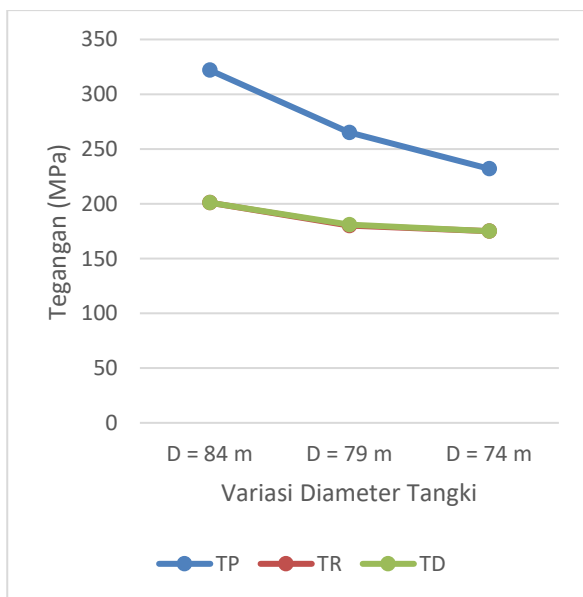
Tabel 21 menjelaskan hasil dari koreksi validasi model tangki. Validasi model tangki menggunakan tegangan *circumferensial* dengan koreksi 0,31 %.

3.4. Grafik Hasil Analisis



Gambar 13. Grafik Hasil Beban Angin

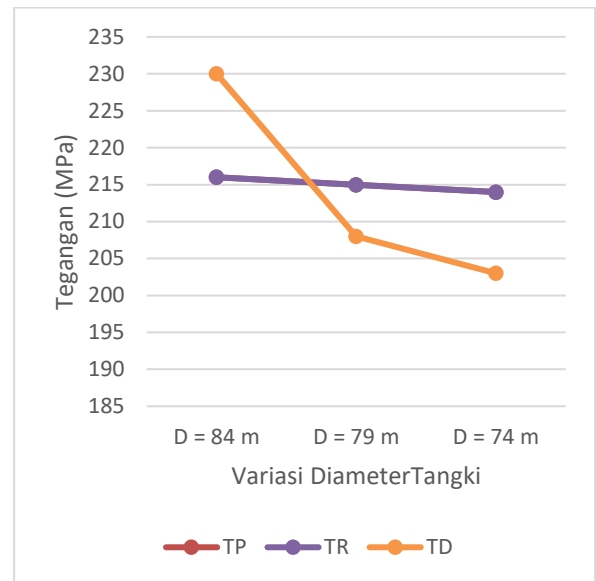
Gambar 13 menunjukkan tegangan maksimal akibat beban angin bahwa semakin kecil diameter tangki maka tegangan yang ditimbulkan semakin besar. Hal ini karena semakin kecil diameter tangki maka semakin tinggi bangunannya. Nilai beban angin semakin besar apabila bangunannya semakin tinggi.



Gambar 14. Grafik Hasil Beban Gempa Statik

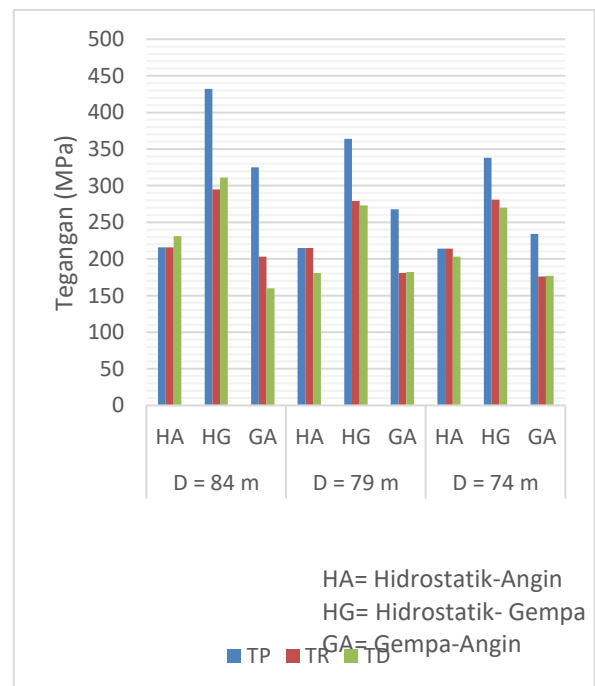
Tegangan maksimal akibat beban gempa bahwa semakin kecil diameter tangki maka tegangan yang ditimbulkan juga semakin kecil

seperti gambar 14. Hal ini karena ketebalan pelat tangki yang semakin tebal.



Gambar 15. Grafik Hasil Beban Hidrostatik

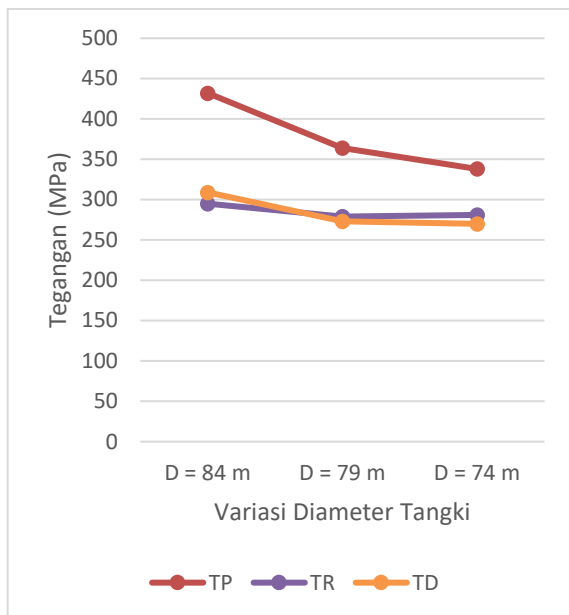
Gambar 15 menunjukkan tegangan maksimal akibat beban hidrostatik bahwa semakin kecil diameter tangki maka tegangan yang ditimbulkan juga semakin kecil. Hal ini karena semakin dalam ketinggian fluida maka pelat yang digunakan semakin tebal untuk menahan tekanan fluida yang semakin tinggi.



Gambar 16. Grafik Hasil Analisis Kombinasi Beban

Hasil dari kombinasi beban menunjukkan bahwa tegangan tertinggi ditimbulkan oleh kombinasi beban hidrostatik- gempa pada

diameter 84 m memiliki tegangan maksimal tertinggi 432 MPa seperti gambar 16 karena pengaruh beban angin lebih kecil pada kombinasi beban yang lain.



Gambar 17. Grafik Hasil Analisis Kombinasi Semua Beban

Hasil dari kombinasi semua beban tangki pada gambar 17 menunjukkan tegangan maksimal pada diameter 84 m melebihi kemampuan batas material di anggap berbahaya karena, tebal pelat yang digunakan kecil. Hasil tegangan kombinasi semua beban sama dengan kombinasi hidrostatik angin karena pengaruh beban angin yang kecil.

4. KESIMPULAN

Pada pembebanan hidrostatik dan pembebanan gempa hasil tegangan semakin kecil di setiap pengurangan diameter tangki karena memiliki tebal pelat yang semakin tebal di setiap *course*. Sedangkan hasil pembebanan angin memiliki tegangan yang semakin besar disetiap pengurangan diameter tangki karena memiliki beban yang semakin besar.

Hasil dari beban kombinasi semua beban menunjukkan bahwa tegangan pada diameter 84 tebal pelat perhitungan melebihi batas *yield strength* material dan di anggap berbahaya yang ditentukan dalam standart API 650.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Mahardhika and A. Ratnasari, "Perancangan Tangki *Stainless Steel* untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni Kapasitas 75.000 m³", *JTERA-Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 3, No. 1, Juni 2018.
- [2] Arafah, " Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi *Oil Storage Tank* PT Cikarang Listrindo Menggunakan PLAXIS 2D", *Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2016.
- [3] Fathoni. I. N, "Studi Perilaku Tangki Minyak Pelat Baja Terhadap Beban Internal dan Beban Seismik", *Teknik Sipil*, 2011.
- [4] M. Orianto and W. A. Praktikto, *Mekanika Fluida 1*, Surabaya: BPFE - Yogyakarta.
- [5] A. P. *INSTITUTE*, *API 650: Welded Steel Tank for Oil Storage*. Washington, D.C, 2012.
- [6] S. Baehaki and M. Akhmad, "Analisis Struktur Gedung Bertingkat di Lima Wilayah di Indonesia Terhadap Beban Gempa dan Beban Angin Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1727-2013", *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [7] Setyadi, ST. Ryan R. *Wind Load Based On SNI 1727:2013/ ASCE 7-10*.
- [8] Munson. R. Bruce, Young. F. Donald, and Okiishi. H. Theodore, *Mekanika Fluida Jilid I*, Jakarta: Erlangga, 2004.
- [9] Salim. Afif., and Siswanto. B. Agus, *Rekayasa Gempa*, Yogyakarta: K-media, 2018.
- [10] B. S Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, 2012.
- [11] I. M. W. Karisma, I. P. Mulyatno and G. Rindo, "Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Mesin dengan Interaksi Trust Block pada Kapal Ferry 500 gt dengan Metode Elemen Hingga," *Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 1, 2017.