

Desain Molasses Storage Tank dan Analisis Kekuatan terhadap Wind Load, Hydrostatic Load dan Combination Load

Riza Rizqi Amalia^{1*}, Budi Prasajo², Endah Wismawati³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: rizaamalia070601@gmail.com^{1*}; budiprasajo1968@ppns.ac.id^{2*}; endahw@ppns.ac.id^{3*}

Abstract – The by-product of sugar production (molasses) in South Sulawesi increased as a result of the addition of sugar production capacity. So this factory need a molasses storage tank. The design of the tank design will refer to the API 650 Thirteenth Edition standard, March 2020. The steps being worked on are calculating the minimum wall thickness of the tank components. Based on the calculation, the actual thickness values are obtained as follows: course 1 = 18 mm, course 2 = 16 mm, course 3 = 14 mm, course 4 = 12 mm, course 5 = 10 mm, course 6 = 8 mm, course 7 = 6 mm and course 8 = 6 mm. Then make a 3D modeling design and carry out a simulation to find out the maximum value of the equivalent stress and deformation using the Inventor Software. For the completion of the stability of the tank can be said to be stable so it does not require anchorage. Based on the simulation that has been carried out, it is obtained that equivalent stress value is 13.62 MPa and the deformation value is 0.873 mm against wind loads, equivalent stress value is 133 MPa and the deformation value is 9.758 mm against hydrostatic loads and equivalent stress value is 132.5 MPa and the deformation of 9.694 mm against combination load. From the simulation results, this tank design can be said to be safe because the maximum stress value is less than the material allowable stress value (ASTM A36).

Keywords: storage tank, wind load, hydrostatic load, deformation, von misses

Nomenclature

t_d	Ketebalan dinding desain (mm)
D	Diameter tangki (mm)
H	Tinggi tangki (m)
G	Berat jenis cairan
S_d	Tekanan desain (MPa)
CA	Korosi yang diijinkan, (mm)
t_t	Tebal minimum uji hidrostatik (mm)
S_t	Tekanan yang diijinkan untuk uji hidrostatik (MPa)
H_{load}	Beban Hydrostatic
ρ	Massa jenis liquid (kg/m ³)
q	qz untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z diatas permukaan tanah
G	Faktor efek tiupan angin
C_p	Koefisien tekanan eksternal
q_i	Tekanan internal bangunan
(GC_{pi})	Koefisien tekanan internal

1. PENDAHULUAN

Industri gula adalah salah satu sektor strategis, karena komoditasnya berperan penting untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan sebagai bahan baku bagi sejumlah sektor industri yang membutuhkan. Besarnya kebutuhan komoditas gula di Indonesia, maka sebuah industri gula di kawasan Sulawesi Tenggara menambah kapasitas produksi gula. Sehingga dibutuhkan tambahan tangki molase yang merupakan hasil samping produksi gula.

Molasses storage tank adalah tangki yang digunakan untuk menampung tetes tebu yang merupakan hasil samping produk gula. Tetes tebu diperoleh dengan memisahkan sirup *low grade*, di mana gula dalam sirup tidak lagi mengkristal, karena mengandung glukosa dan fruktosa. Namun mengingat nilai ekonomisnya yang masih tinggi, biasanya pabrik gula menjual hasil tetes tebunya ke pabrik-pabrik yang memang membutuhkan tetes ini untuk diolah lebih lanjut.

Untuk pembangunan tangki molase ini tentu diperlukan beberapa tahapan seperti proses desain, pemilihan material, analisa kekuatan tangki dan lain sebagainya. Oleh karena itu diperlukan perhitungan desain dan analisa kekuatan tangki secara matang guna menghindari *defect*, *buckling*, maupun *leakage* yang dapat merugikan perusahaan [6]. Berdasarkan perhitungan, tangki penyimpan yang dirancang telah memenuhi standar dengan beberapa kriteria, seperti tegangan yang diijinkan tangki lebih besar dibandingkan dengan tegangan akibat beban statis [5].

Desain tangki ini harus diperhitungkan dengan tepat sesuai dengan standar yang ada, yaitu *API 650 Thirteenth Edition, March 2020* [1]. Dalam perancangan ini perlu diperhitungkan kekuatan desain untuk memenuhi nilai tegangan dan deformasi untuk memenuhi keamanan desain.[4].

Dari beberapa pertimbangan yang harus

dilakukan sebelum membangun sebuah tangki, maka penelitian untuk tugas akhir ini melakukan perhitungan *minimum wall thickness* pada *plate* sesuai standar dan melakukan simulasi analisa kekuatan tangki molase menggunakan *Software Inventor*.

2. METODOLOGI

2.1 Bentuk Penelitian

Pada penelitian pembangunan tangki molase ini berupa desain tangki yang akan mengacu standar *API 650 Thirteenth Edition, March 2020*. Perhitungan *minimum wall thickness* pada bagian *shell, annular bottom plate, bottom plate* dan *roof plate* dengan menggunakan *one foot method*. Metode ini digunakan untuk tangki yang berdiameter kurang dari 61 m. Penelitian ini juga menganalisa kekuatan tangki molase terhadap beban angin, beban hidrostatik dan beban kombinasi dengan simulasi menggunakan *Software Inventor*.

2.2 Perhitungan Minimum Wall Thickness Plate

Perhitungan *minimum wall thickness plate* pada *shell* berdasarkan standar terdapat pada para 5.6.3.2. Berikut adalah formula perhitungan *minimum wall thickness* di *shell* dengan satuan SI (Satuan Internasional) :

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

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

Perhitungan *minimum wall thickness plate* pada *annular bottom plate, bottom* dan *roof* dapat menggunakan formula perhitungan sebagai berikut ini:

$$t_d = t_{\text{minimum sesuai API 650}} + CA \quad (3)$$

2.3 Analisa Kekuatan Molasses Storage Tank Terhadap Wind Load, Hydrostatic Load dan Combination Load

2.3.1 Analisa Kekuatan Molasses Storage Tank terhadap Wind Load

Analisis *wind load* pada tangki adalah salah satu hal yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kekuatan dari dinding tangki akibat paparan beban angin pada wilayah tersebut. Untuk mengetahui kekuatan tangki dapat disimulasikan melalui *Software Inventor* dengan beban yang telah diinput dalam software tersebut. Berikut adalah formula tekanan angin yang terpapar di tangki :

$$p = qG C_p - q_i(G C_{pi}) \quad (4)$$

2.3.2 Analisa Kekuatan Molasses Storage Tank terhadap Hydrostatic Load

Analisis *hydrostatic load* pada tangki diperlukan untuk mengetahui kekuatan tangki saat diberikan beban hidrostatik. Beban hidrostatik adalah beban yang dikenakan keseluruhan plat dinding dan plat dasar tangki [3]. Untuk mengetahui kekuatan tangki dapat disimulasikan melalui *Software Inventor* dengan beban yang telah diinput dalam software tersebut. Berikut adalah formula tekanan angin yang terpapar di tangki :

$$H_{load} = \rho \times g \times H \quad (5)$$

2.3.3 Analisa Kekuatan Molasses Storage Tank terhadap Combination Load

Analisis *combination load* pada tangki diperlukan untuk mengetahui kekuatan tangki saat diberikan beban hidrostatik dan beban angin. Untuk mengetahui kekuatan tangki dapat disimulasikan melalui *Software Inventor* dengan kedua beban yang telah diinput dalam software tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Tangki

Tabel 1. Data Tangki

No.	Data	Keterangan
1	Dimensi tangki	
	<i>Inside diameter</i>	31.050 mm
	<i>Height</i>	12.000 mm
	Ukuran pelat	6.000 x 15.000 mm
2	Material	A36
3	<i>Maximum Liquid Level</i>	11.410 mm
3	<i>Capacity</i>	10.000 ton
4	<i>Corrosion allowance</i>	2 mm
5	Sd	160 MPa
6	St	171 MPa

3.2 Hasil Perhitungan Minimum Wall Thickness Shell

Perhitungan tebal minimum pada shell dengan formula persamaan 1 dan 2. Jenis material yang digunakan pada *plate* ini adalah ASTM A36 dengan lebar plat 6000 mm x 1500 mm. Berikut adalah perhitungan tebal minimum pada *course 1* :

$$t_{d1} = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA$$

$$= \frac{4,9 \times 31,05 \text{ m} \times (12 \text{ m} - 0,3 \text{ m}) \times 1,424}{160 \text{ MPa}} + 2 \text{ mm}$$

$$= 17,84 \text{ mm}$$

$$t_{t1} = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{S_t}$$

$$= \frac{4,9 \times 31,05 \text{ m} \times (12 \text{ m} - 0,3 \text{ m})}{171 \text{ MPa}}$$

$$= 10,41 \text{ mm}$$

Nilai *minimum wall thickness* yang digunakan adalah nilai yang terbesar. Maka dari perhitungan di atas, nilai *minimum wall thickness* yang digunakan sebesar 17,84 mm. Lalu tebal minimum yang digunakan akan menyesuaikan

yang ada dipasaran. Berikut adalah *minimum wall thickness shell* dari setiap *course* :

Tabel 2. Minimum Wall Thickness Shell

Course	t API 650 (mm)	t act (mm)
1	17,84	18
2	15,81	16
3	13,78	14
4	11,75	12
5	9,72	10
6	7,69	8
7	6	6
8	6	6

3.2 Hasil Perhitungan Minimum Wall Thickness Annular Bottom

Ketebalan pelat pada *annular bottom plate* ditentukan mengacu standar API 650 serta ditambah *corrosion allowance*-nya. Langkah awal yaitu mengetahui tebal pelat pada *shell course 1* yaitu :

$$t_d \text{ aktual} = 18 \text{ mm}$$

$$t_t \text{ aktual} = 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Product Stress} &= \left(\frac{t_d - CA}{t_{\text{corroded}}} \right) \times S_d \\ &= \left(\frac{18 \text{ mm} - 2 \text{ mm}}{16 \text{ mm}} \right) \times 160 \text{ MPa} \\ &= 160 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hydrostatic Test} &= \left(\frac{t_t}{t_{\text{nominal}}} \right) \times S_t \\ &= \left(\frac{12 \text{ mm}}{12 \text{ mm}} \right) \times 171 \text{ MPa} \\ &= 171 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui *hydrostatic test* dan *product stress* maka diambil hasil *stress* yang terbesar yaitu *hydrostatic test*. Kemudian berdasarkan tabel 4.8 diketahui *plate thickness* sebesar 6 mm dan *stress first shell course* ≤ 190 maka didapatkan *thickness annular bottom* sebesar 6 mm. Selanjutnya hasil dari *thickness annular bottom* ditambahkan dengan CA.

$$\begin{aligned} t_{\text{annular bottom}} &= 6 \text{ mm} + CA \\ &= 6 \text{ mm} + 2 \text{ mm} \\ &= 8 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.3 Hasil Perhitungan Minimum Wall Thickness Bottom

Pada pelat yang dipasang di *bottom*, *thickness bottom* (Tb) tidak boleh kurang dari 6 mm. Hal ini berdasarkan pada API 650 Paragraf 5.4.1, jadi ketebalan minimal pada pelat *bottom* adalah 6 mm. Selanjutnya hasil dari *thickness bottom plate* ditambahkan dengan CA.

$$\begin{aligned} t_{\text{bottom}} &= 6 \text{ mm} + CA \\ &= 6 \text{ mm} + 2 \text{ mm} \\ &= 8 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.4 Hasil Perhitungan Minimum Wall Thickness Roof

Pada pelat yang dipasang di *roof*, *thickness roof* (Tr) tidak boleh kurang dari 3/16 inch atau 5 mm. Hal ini berdasarkan pada standar API 650

Paragraf 5.10.2.2 yang menjelaskan bahwa perhitungan atap tangki harus menambahkan *Corrosion allowance* (CA) untuk ditambahkan pada ketebalan pelat yang sudah ditentukan seperti perhitungan berikut ini:

$$\begin{aligned} t_{\text{roof}} &= 5 \text{ mm} + CA \\ &= 5 \text{ mm} + 2 \text{ mm} \\ &= 7 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.5 Hasil Analisa Kekuatan Molasses Storage Tank terhadap Wind Load

Untuk menganalisa kekuatan tangki terhadap wind load harus menentukan tekanan angin tiap shell yang akan diinput di software. Berikut adalah perhitungan tekanan angin pada *course 1* :

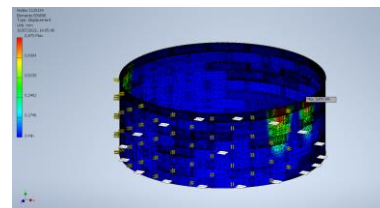
$$\begin{aligned} p &= qGC_p - q_i(GC_{pi}) \\ &= (255,122 \times 0,85 \times 0,8) - 312,188(-0,55) \\ &= 345,187 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai tekanan angin pada *course 1* adalah 345,187 Pa. Berikut adalah nilai tekanan angin dari setiap *course* :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Tekanan Angin

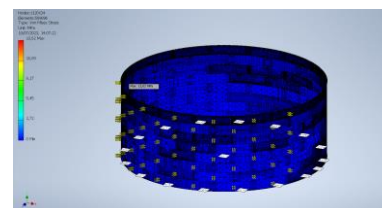
Z(m)	P(N/m2)
12	383,9916
10,5	378,1069
9	371,5161
7,5	363,9919
6	355,1676
4,5	345,1868
3	345,1868
1,5	345,1868

Setelah mengetahui tekanan angin pada tiap *course*, tahap berikutnya adalah menginputnya kedalam software lalu dapat dilakukan *running* untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada tangki. Berikut adalah hasil *running* pada *Software Inventor* :



Gambar 1. Hasil Simulasi Deformasi Tangki Molase terhadap Wind Load

Berdasarkan hasil simulasi *stress analysis* pada tangki molase, didapatkan nilai *deformasi* maksimum sebesar 0,873 mm pada *shell* tangki. Titik deformasi maksimum terletak pada *course* paling atas.



Gambar 2. Hasil Simulasi Equivalent Stress Tangki Molase terhadap Wind Load

Berdasarkan hasil simulasi *stress analysis* pada tangki molase, didapatkan nilai *equivalent stress* maksimum sebesar 13,62 MPa pada *shell* tangki. Nilai tegangan ini masih dianggap aman karena nilai *allowable stress* material sebesar 160 Mpa.

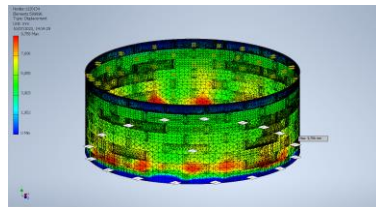
3.6 Hasil Analisa Kekuatan Molasses Storage Tank terhadap Hydrostatic Load

Untuk analisa *hydrostatic load* pada tangki diperlukan untuk mengetahui kekuatan tangki saat diberikan beban hidrostatis. Untuk mengetahui kekuatan tangki dapat disimulasikan melalui *Software Inventor* dengan beban yang telah diinput dalam software tersebut sesuai persamaan formulasi 5. Berikut adalah hasil perhitungan *hydrostatic load* dari setiap *course* :

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Hydrostatic Load*

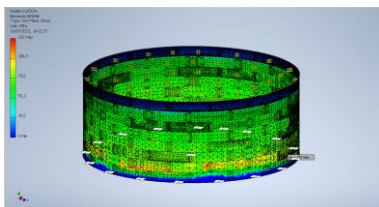
Course	Hload(Mpa)
1	0,118
2	0,103
3	0,088
4	0,074
5	0,059
6	0,044
7	0,029
8	0,015

Setelah mengetahui tekanan hidrostatis pada tiap *course*, tahap berikutnya adalah menginputnya kedalam software lalu dapat dilakukan *running* untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada tangki. Berikut adalah hasil *running* pada *Software Inventor* :



Gambar 3. Hasil Simulasi Deformasi Tangki Molase terhadap *Hydrostatic Load*

Berdasarkan hasil simulasi *stress analysis* pada tangki molase, didapatkan nilai *deformasi* maksimum sebesar 9,758 mm pada *shell* tangki.

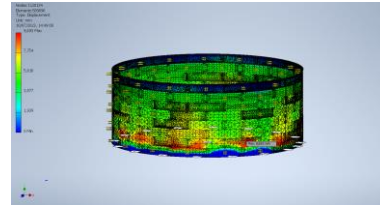


Gambar 4. Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Tangki Molase terhadap *Hydrostatic Load*

Berdasarkan hasil simulasi *stress analysis* pada tangki molase, didapatkan nilai *equivalent stress* maksimum sebesar 133 MPa pada *shell* tangki. Nilai tegangan ini masih dianggap aman karena nilai *allowable stress* material sebesar 160 MPa.

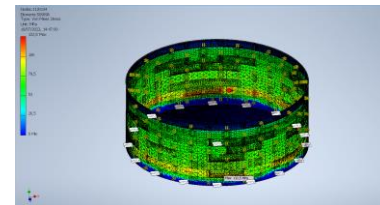
3.7 Hasil Analisa Kekuatan Molasses Storage Tank terhadap Combination Load

Untuk analisa *combination load* pada tangki diperlukan untuk mengetahui kekuatan tangki saat diberikan beban hidrostatis dan beban angin. Untuk mengetahui kekuatan tangki dapat disimulasikan melalui *Software Inventor* dengan beban yang telah diinput dalam software tersebut sesuai perhitungan yang telah dilakukan. Berikut adalah hasil *running* pada *Software Inventor* :



Gambar 5. Hasil Simulasi Deformasi Tangki Molase terhadap *Combination Load*

Berdasarkan hasil simulasi *stress analysis* pada tangki molase, didapatkan nilai *deformasi* maksimum sebesar 9,693 mm pada *shell* tangki.



Gambar 6. Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Tangki Molase terhadap *Combination Load*

Berdasarkan hasil simulasi *stress analysis* pada tangki molase, didapatkan nilai *equivalent stress* maksimum sebesar 132,5 MPa pada *shell* tangki. Nilai tegangan ini masih dianggap aman karena nilai *allowable stress* material sebesar 160 MPa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan *minimum wall thickness* pada *shell* dengan menggunakan *one foot method* tebal aktual sebagai berikut : *course 1* = 18 mm, *course 2* = 16 mm, *course 3* = 14 mm, *course 4* = 12 mm, *course 5* = 10 mm, *course 6* = 8 mm, *course 7* = 6 mm dan *course 8* = 6 mm. Berdasarkan standar API 650 didapatkan juga nilai *minimum wall thickness* pada *annular bottom plate* = 8 mm, *bottom plate* = 8 mm dan *roof* = 7 mm.

Dengan simulasi software *Inventor* dihasilkan nilai maksimum *equivalent stress* sebesar 13,62 MPa dan deformasi sebesar 0,873 mm saat terpapar beban angin. Pada saat dibebani beban hidrostatis dihasilkan nilai maksimum *equivalent stress* sebesar 133 MPa dan deformasi sebesar 9,758 mm. Dan pada saat dibebani beban kombinasi dihasilkan nilai maksimum *equivalent stress* sebesar 132,5 MPa dan deformasi sebesar

9,694 mm. Dari pemberian beban angin, beban hidrostatis dan beban kombinasi dihasilkan nilai *equivalent stress* maksimum yang kurang dari nilai *allowable stress* material (ASTM A36). Jadi dapat dikatakan bahwa desain tangki ini aman untuk digunakan.

Kekuatan Menggunakan Software Ansys [Tugas Akhir]. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya .

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyusunan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah mendoakan, memberi banyak motivasi, nasehat selama menempuh perkuliahan ini.
2. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Budi Prasajo, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Perpipaan dan selaku Dosen Pembimbing pertama. Beliau yang selalu memberikan masukan dan solusi dari setiap permasalahan yang dihadapi penulis dalam penelitian ini.
5. Ibu Ir. Endah Wismawati, M.T., selaku Dosen Pembimbing kedua. Beliau yang selalu memberikan masukan dan solusi dari setiap permasalahan yang dihadapi penulis dalam penelitian ini.

7. PUSTAKA

- [1] *American Petroleum Institute. (2020). Welded Tanks for Oil Storage (13th ed.). API Publishing Services.*
- [2] Azizhah, A., & Nengse, I. A. (2020). Rancang Bangun Tangki Penampung Molasses pada Pabrik Gula Ptpn X berbasis Metode Elemen Hingga [Thesis]. Universitas Internasional Semen Indonesia.
- [3] Fathoni, I. N. (2011). Studi Perilaku Tangki Minyak Pelat Baja Terhadap Beban Internal dan Beban Seismik [Skripsi]. Universitas Indonesia .
- [4] 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.
- [5] Mahardhika, P., & Ratnasari, A. (2018). Perancangan Tangki Stainless Steel untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni Kapasitas 75 m³. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 3(1), 39–46.
- [6] Prabowo, R. R. (2022). Perancangan Olein Storage Tank Kapasitas 450 Kl dan Analisis