

Perancangan LP CO₂ Condensate Separator pada Proyek Revamp Of Ammonia Plant-2 di Bontang, Kalimantan Timur

Muhammad Sholahul Mu'minin^{1*}, Muhammad Anis Mustaghfirin², Dianita Wardani³

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

Program studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Kota Surabaya, Indonesia²

Email: sholahul.muminin@student.ppns.ac.id^{1*}; mustaghfirin@ppns.ac.id²; dianitawardani@ppns.ac.id³;

Abstract - The development of industry in Indonesia has led to an increasing demand for chemical raw materials for industry. Therefore, Revamp of Ammonia Plant-2 is a project that aims to modify an ammonia plant, where there is the addition of a pressure vessel, namely LP CO₂ Condensate Separator, which functions as a separator between CO₂ and water. Things that are considered when designing include internal pressure, external pressure, maximum allowable working pressure and calculation of seismic and wind loads with reference to ASME Section VIII Division 1 and ASCE 7-10 and modeling is carried out with software. Based on the calculation results, the shell thickness is 0,482 inch and the head thickness is 0,325 inch. The MAWP value obtained is qualified with a value greater than the design pressure. then for the MAEP value obtained is also qualified with a value greater than 15 psi. The maximum deflection value due to wind load is 0,00845 inch and the base shear moment value does not exceed 80% of the base shear due to earthquake load of 1049,14 kips.ft > 24,395 kips.ft.

Keywords : Pressure vessel, thickness, pressure, design, value

Nomenclature

<i>t</i>	Thickness (inch)
<i>P</i>	Pressure (psi)
<i>D</i>	Diameter (inch)
<i>R</i>	Radius (inch)
<i>E</i>	Joint Efficiency
<i>CA</i>	Corrosion Allowance
<i>LP</i>	Low Pressure
<i>V</i>	Wind Speed (mph)

1. PENDAHULUAN

Ammonia adalah senyawa kimia NH₃ yang berupa gas dengan bau yang cukup khas. Bahan baku yang akan digunakan pada pembuatan ammonia ini berupa gas alam dan nitrogen. Diperkirakan kebutuhan ammonia tersebut akan semakin meningkat pada bidang industri kimia yang luas seperti industri pupuk urea, pupuk ZA, asam nitrat, dan lain-lainnya. Oleh sebab itu, sebuah perusahaan yang terlibat di bidang EPC (*Engineering, Procurement and Construction*) yang berada di Tangerang Selatan sedang mengerjakan proyek dari *client* mengenai pengembangan sebuah pabrik ammonia plant yang terletak di Bontang, Kalimantan Timur.

Didalam ammonia plant terdapat beberapa unit yaitu unit *desulfurization reforming and shift*, unit *carbon dioxide removal*, unit *synthesis loop and refrigeration*, unit *steam system*, dan unit *cooling water system*. Pada unit *carbon dioxide removal* sendiri akan mendapatkan modifikasi dengan ditambahkannya beberapa *equipment* seperti CO₂ LP Regenerator

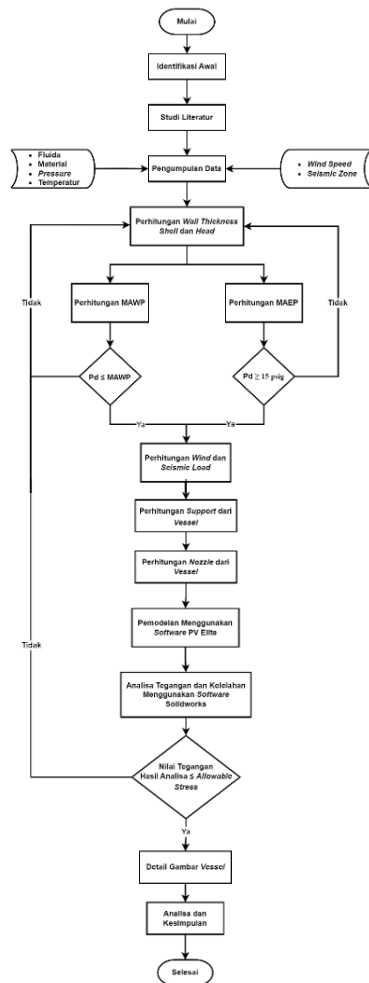
(1102-E) dan LP CO₂ Condensate Separator (1102-F). LP CO₂ Condensate Separator (1102-F) sendiri merupakan *equipment* yang berfungsi sebagai alat pemisah antara CO₂ dan H₂O atau air. CO₂ yang didapat akan digunakan untuk proses pembuatan urea dan air yang dipisahkan akan digunakan kembali oleh *equipment* CO₂ Stripper (102-E).

Pada perancangan LP CO₂ Condensate Separator untuk proyek Revamp of Ammonia Plant-2 yang di desain dengan menggunakan material AISI 304L, *design pressure* 3,4 bar atau 49,31 psi, *design temperature* 90 °C atau 194 F, berdiameter 2700 mm, dan tinggi 4200 mm. Maka dari itu, untuk perancangan *vertical pressure vessel* harus diperhitungkan dengan benar supaya tidak terjadi kegagalan. Adapun beberapa faktor yang dapat berpengaruh seperti MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*), *internal pressure* dan MAEP (*Maximum Allowable External Pressure*).

2. METODOLOGI .

2.1 Metode Penelitian

Didalam penelitian ini di perlukan data-data untuk perhitungan. Data-data di dapat dari data teknis dan data lapangan. Diagram alir dibuat sebagai metode dan tahapan dalam menjawab rumusan masalah. Metode yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1 diagram alir di bawah ini.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Perhitungan Ketebalan

Perhitungan ketebalan *shell* dan *head* dilakukan berdasarkan tekanan internal dan dimensi dalam. Dan dihitung dalam kondisi terkorosi (*new condition*)[3]. Ketebalan *shell* dengan dimensi dalam dapat dihitung dengan persamaan 1 dan ketebalan *head* dengan dimensi dalam dapat dihitung dalam persamaan 2.[2]

Rumus tebal *shell* :

$$t = \frac{P.R}{S.E-0,6.P} + CA \tag{1}$$

Rumus tebal *head* :

$$t = \frac{P.D}{2.S.E-0,2.P} + CA \tag{2}$$

2.3 Perhitungan MAWP

Maximum allowable working pressure (MAWP) adalah tekanan kerja maksimal yang diizinkan oleh suatu bejana tekan, MAWP bejana tekan merupakan tekanan maksimum internal atau eksternal, yang dikombinasikan dengan beban beban yang mungkin akan terjadi dan termasuk faktor korosi (CA) pada saat kondisi

temperatur desain. MAWP bejana tekan ditentukan oleh komponen yang paling lemah (Komponen *shell* dan *head*). MAWP *shell* ditunjukkan pada persamaan 3, MAWP *head* ditunjukkan pada persamaan 4.[5]

Rumus MAWP *shell* :

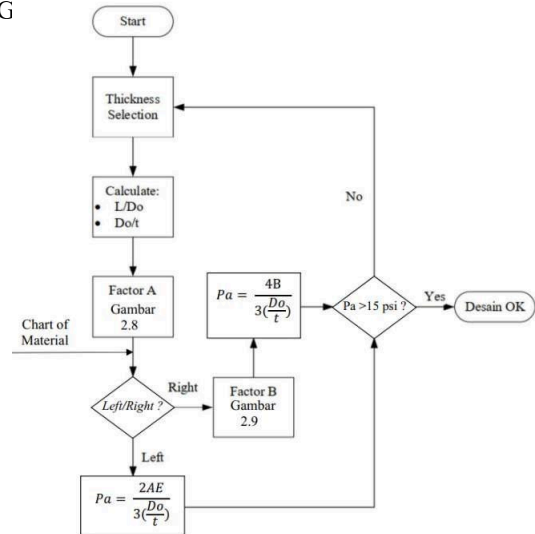
$$P = \frac{S.E.t}{R+0,6.t} \tag{3}$$

Rumus MAWP *head* :

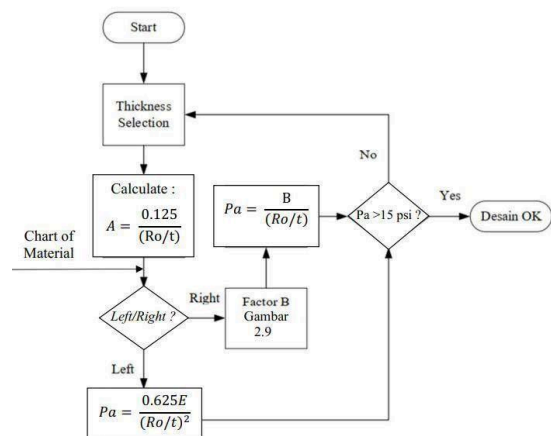
$$P = \frac{2.S.E.t}{D+0,2.t} \tag{4}$$

2.4 Perhitungan MAEP

Perhitungan *maximum allowable external pressure* diperlukan untuk mengetahui apakah tekanan dalam *pressure vessel* lebih besar dari *external pressure* yaitu sebesar 15 psi. Perhitungan ini digunakan agar pada saat *pressure vessel* dalam keadaan vacum tidak mengalami pengerutan pada dindingnya (*Buckling*)[4]. Adapun tahapan perhitungan menentukan nilai tekanan eksternal pada *shell* dan *head* dapat dilihat pada Gambar 2 dan G



Gambar 2. Diagram Alir Perhitungan MAEP pada Shell



Gambar 3. Diagram Alir Perhitungan MAEP pada Head

2.5 Wind Load

Angin yang dimaksud adalah angin dengan aliran yang turbulen dipermukaan bumi dengan kecepatan yang bervariasi sesuai *basic wind speed* yang terjadi pada daerah proyek tersebut. dimana $H/De < 4$. Maka menggunakan rumus untuk perancangan bejana tekan terhadap beban angin mengacu pada standar ASCE 7-10 sebagai berikut[1].

a. *Wind Force*

$$qz = 0,00256 \cdot Kz \cdot Kzt \cdot I \cdot V^2 \tag{5}$$

$$Af = De \cdot hl \tag{6}$$

$$F1 = qz \cdot G \cdot Cf \cdot (lb) \tag{7}$$

b. *Maximum deflection (ΔM)*

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. *Vertical pressure vessel* harus didesain untuk mengalami defleksi tidak lebih dari 6 inch per 100 feet dari ketinggian perhitungan sebagai berikut [6].

$$y_i = \frac{L_i^2}{6EI} \left[\frac{F_i L_i}{8} + \frac{Q_i L_i}{3} + \frac{M_i}{2} \right] \tag{8}$$

$$\Delta_{1-i} = \frac{(L_i + L_2 + \dots + L_{1-i})L_i}{6EI} \left[\frac{Q_i L_i}{6} + \frac{Q_i L_i}{2} + M_i \right] \tag{9}$$

$$\Delta m = y_1 + y_2 + \dots + y_i + \Delta_{1-2} + \dots + \Delta_{1-i} \tag{10}$$

2.6 Seismic Load

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan (gedung, jembatan, dan sebagainya) terutama *vertikal pressure vessel* beban gempa (*Seismic Load*) merupakan salah satu parameter beban yang paling menentukan untuk sebuah *pressure vessel* dengan mengacu pada code ASCE 7-10 sebagai berikut :

$$M_b = F_t \cdot H + \frac{3}{2}(F \cdot H) \tag{11}$$

2.7 Pemodelan Software

Pemodelan dengan *software* digunakan untuk merancang dan menganalisa bejana tekan (*Pressure Vessel*) dan alat penukar panas (*Heat Exchanger*). Perhitungan ketebalan dinding untuk tekanan internal dan eksternal sesuai dengan aturan ASME Section VIII Division 1 and 2. Dan dapat mengoreksi ketebalan dinding untuk memenuhi persyaratan tekanan. Hasil dari pemodelan dengan *software* nantinya akan menjadi validasi dari perhitungan manual.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Ketebalan

Dari hasil perhitungan ketebalan *shell* dan *head* dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tabel perhitungan ketebalan

	t calculated (inch)	t used (inch)
Shell	0,187	0,472
Head	0,158	0,315

3.2 Hasil Perhitungan MAWP dan MAEP

Setelah dilakukan perhitungan pada dinding *shell* dan *head* maka didapatkan nilai *maximum allowable working pressure* untuk *shell* dan *head* dengan masing-masing sebesar 125,508 psi dan 98,904 psi.

Setelah itu dihitung nilai *maximum allowable external pressure* untuk mengetahui tekanan dalam bejana tekan lebih besar dari *external pressure* sebesar 15 psi. Sehingga saat bejana tekan dalam keadaan vakum tidak akan terjadi pengerutan pada dinding bejana tekan. Apabila perhitungan *external pressure* kurang dari 15 psi, maka diperlukan penambahan *thickness*. Dari perhitungan MAEP didapatkan nilai sebesar 20,558 psi pada *shell* dan 18 psi pada *head*.

3.3 Perhitungan Wind Load

Berikut ini merupakan data angin berdasarkan *mechanical datasheet* :

- V = 74,49 mph
- I = 1
- Exposure C
- Risk category III

Mencari *wind load*, *shear* dan *moment* yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 2 dibawah.

Tabel 2. Desain akibat beban angin

Section	H (ft)	F (lb)	M (lb)
1	22,556	246,24	545,32
2	20,341	709,39	1363,31
3	13,841	719,13	6870,03
4	6,841	702,82	17800,19

Dari hasil perhitungan beban angin diatas, didapat nilai defleksi dengan total adalah 0,00845 in. Dari nilai defleksi dan beban angin, maka perlu menambahkan nilai ketebalan pada *shell* dan *head* dengan nilai 0,010 inch. Jadi nilai yang didapat adalah 0,482 inch untuk *shell* dan 0,325 inch untuk *head*.

3.4 Perhitungan Seismic Load

Perhitungan *seismic load* memerlukan data-data beban gempa yang bisa didapat pada *mechanical datasheet* dan mengacu ASCE 7-10.

- I = 1,25
- Site class = E
- Risk category = III

Kemudian dari data diatas didapat nilai total gaya lateral dari tiap *section* adalah 30,493 kips. Setelah itu menghitung nilai momen pada *base*.

$$M_b = F_t \cdot H + \frac{3}{2}(F \cdot H)$$

$$M_b = 0,773 \text{ kips} \cdot 22,556 \text{ ft} + \frac{3}{2}(30,493 \text{ kips} \cdot 22,556 \text{ ft})$$

$$M_b = 1049,139 \text{ kips}$$

Acceptance criteria untuk moment pada base tidak boleh kurang dari sama dengan 80% dikali beban geser atau *base shear*.

$$M_b \geq 80\% \cdot V$$

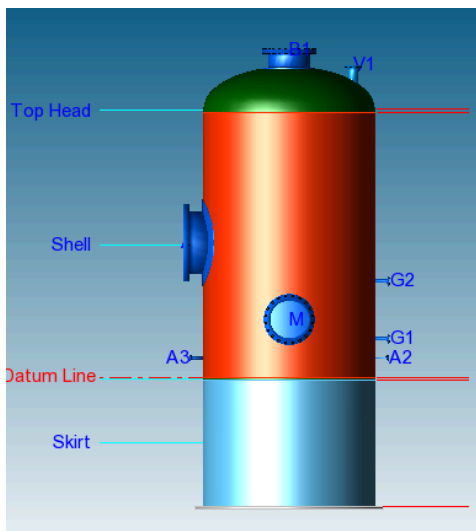
$$1049,139 \text{ kips} \geq 80\% \cdot 30,493 \text{ kips}$$

$$1049,139 \text{ kips} \geq 24,395 \text{ kips}$$

(Memenuhi *acceptance criteria*)

3.5 Pemodelan Software

Desain pemodelan *pressure vessel* atau bejana tekan dapat dilakukan dengan bantuan *software*, setelah melakukan perhitungan manual lalu mendesain atau memodelkan bejana tekan (*Pressure Vessel*) dengan bantuan *software*. Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 3 berikut ini.



Gambar 4. Pemodelan Software

Tabel 3. Hasil perhitungan manual dan software

Parameter	Hasil Perhitungan	
	Manual	Software
<i>t</i> calculated shell (in)	0,187 in	0,187 in
<i>t</i> used shell (in)	0,472 in	0,5 in
<i>t</i> calculated head (in)	0,158 in	0,158 in
<i>t</i> used head (in)	0,315 in	0,313 in
MAWP shell (psi)	125,508 psi	132,788 psi
MAWP head (psi)	98,904 psi	98,131 psi
<i>t</i> calculated shell (in)	-	0,440 in
<i>t</i> used shell (in)	0,472 in	0,5 in
<i>t</i> calculated head (in)	-	0,282 in
<i>t</i> used head (in)	0,315 in	0,313 in
MAEP shell (psi)	20,558 psi	20,742 psi
MAEP head (psi)	18 psi	18,454 psi

e
s
u
r
e

3.6 Perbandingan Perhitungan Manual dan Software

Berikut perbandingan perhitungan pada Tabel 4.6 antara perhitungan manual dan perhitungan *software*, untuk nilai perbandingan manual dan *software* sebagai berikut :

- Thickness calculated shell dan head**
Perbandingan perhitungan ketebalan pada *shell* dan *head*, untuk perhitungan manual *thickness calculated shell* 0,187 inch dan pada perhitungan *software thickness calculated shell* sebesar 0,187 inch, sehingga antara manual dan *software* memiliki nilai *error* sebesar 0%. Sedangkan untuk *thickness calculated head* perhitungan manual sebesar 0,158 inch dan perhitungan *software* 0,158 inch, untuk nilai *error* dari *thickness calculated head* sebesar 0%.
- MAWP shell dan head**
Perbedaan perhitungan MAWP *shell* dan *head*, untuk perhitungan manual MAWP *shell* 125,508 psi dan pada perhitungan *software* MAWP *shell* sebesar 132,788 psi, antara manual dan *software* memiliki nilai *error* sebesar 5,48 %. Sedangkan untuk MAWP *head* perhitungan manual sebesar 98,904 psi dan perhitungan *software* 98,131 psi, untuk nilai *error* dari MAWP *head* sebesar 0,79 %.
- MAEP shell dan head**
Sedangkan untuk perbandingan perhitungan MAEP *shell* dan *head*, untuk perhitungan manual MAEP *shell* 20,558 psi dan pada perhitungan *software* MAEP *shell* sebesar 20,742 psi, antara manual dan *software* memiliki nilai *error* sebesar 0,89 %. Sedangkan untuk MAEP *head* perhitungan manual sebesar 18 psi dan perhitungan *software* 18,454 psi, untuk nilai *error* dari MAEP *head* sebesar 2,46 %.

Pada penelitian ini nilai maksimal *error* antara perhitungan manual dan *software* terdapat pada hasil perhitungan *thickness used shell* sebesar 5,6 %. Nilai *error* tersebut didapat karena perbedaan nilai ketebalan yang digunakan pada *shell* dengan hasil perhitungan manual sebesar 0,472 in dan perhitungan *software* sebesar 0,5 in. Dari pemilihan ketebelan yang digunakan pada

shell tersebut akan berpengaruh pada nilai MAWP *shell*-nya dengan nilai *error* sebesar 5,48 %. Perbedaan pemilihan ketebalan pada *shell* tersebut sebenarnya tidak akan berpengaruh pada kekuatan dari *pressure vessel* yang disebabkan dari MAWP dan MAEP, karena nilai MAWP yang didapat sudah memenuhi syarat dengan nilai yang lebih besar dari *design pressure*. Sedangkan nilai MAEP yang didapat juga sudah memenuhi syarat dengan nilai yang lebih besar dari 15 psi. Jadi dari hasil perhitungan manual ketebalan *shell* yang memiliki nilai lebih kecil dari perhitungan software, nilai tersebut bisa dianggap aman untuk digunakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perhitungan manual serta analisa menggunakan *software*, serta perhitungan terhadap beban angin, didapatkan hasil ketebalan akhir *shell* adalah 0,482 inch dan *head* yaitu 0,325 inch, serta nilai MAWP *shell* sebesar 125,508 psi dan *head* 98,904 psi dinyatakan aman karena lebih besar dari *design pressure*. Sedangkan untuk perhitungan manual MAEP yang terjadi pada *shell* sebesar 20,558 psi dan *head* sebesar 18 psi dinyatakan aman untuk MAEP karena lebih besar dari 15 psi. Untuk maksimum defleksi yang terjadi masih memenuhi standar yaitu 0,00845 inch, masih dalam kategori aman karena tidak melebihi *maximum allowable deflection* yaitu 1,353 inch per 22,556 ft. Momen yang terjadi pada *base* akibat adanya *seismic load* juga masih aman dimana nilai *moment base shear* sebesar 1049,14 kips.ft, dimana nilai tersebut lebih besar dari 80% *base shear* yaitu sebesar 24,395 kips.ft (1049,14 kips.ft > 24,395 kips.ft).

5. PUSTAKA

- [1] ASCE. (2010). ASCE 7-10 : Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society Of Civil Engineers, Washington.
- [2] ASME. (2021). Rules for Construction of Pressure Vessel Section VIII Div I. The American Society Of Mechanical Engineers, New York.
- [3] ASME II D. (2019). Boiler and Pressure Vessel Code Section II Material Part D. The American Society Of Mechanical Engineers, New York.
- [4] Azmi, M. Anis. Ni'matut. (2022). Desain Bejana Tekan Vertikal VE-3003 (Filtered Product Tank) untuk Menampung Senyawa Amina. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [5] Megyesy, E. F. (2008). Pressure Vessel Handbook (Fourteenth ed.). PV Publishing, Inc., Oklahoma.
- [6] Moss, R. Dennis. 2004. Pressure Vessel Design Manual 3th edition. Gulf Proffessional Publishing, USA.