

# PERANCANGAN *VERTICAL PRESSURE VESSEL VE-2005 CRUDE REACTANT VESSEL* pada PROYEK PEMBANGUNAN *AMINE PLANT* di GRESIK JAWA TIMUR

Eggie Moch Ilham Firmansyah<sup>1\*</sup>, Ekky Nur Budiyanto<sup>2</sup>

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Sukolilo, Kota Surabaya, Indonesia 60111

Email: eggiemif98@gmail.com<sup>1\*</sup>; ekky@ppns.ac.id<sup>2\*</sup>;

## Abstrak

Kebutuhan bahan baku kimia untuk industri semakin meningkat seiring dengan perkembangan industri di Indonesia. Oleh karena itu, fasilitas produksi amine yang baru sendiri dirancang untuk menghasilkan 20.000 metrik ton senyawa amine per tahun, dimana terdapat satu unit penting untuk penyiapan bahan baku pakan yaitu unit alcohol preheat. Pada unit alcohol preheat terdapat pressure vessel yaitu crude reactant vessel yang berfungsi sebagai wadah pemanas alkohol, dimana alkohol bercampur dengan fluida vent dan menjadi bahan baku feed. Dalam desain mempertimbangkan tekanan internal, tekanan eksternal, tekanan kerja maksimum yang diijinkan (MAWP) dan perhitungan beban angin dan gempa. Meninjau hasil perancangan berdasarkan kode dan standar ASME Section VIII Divisi I dan ASCE 7-16 serta pemodelan dan simulasi menggunakan software. Berdasarkan hasil perhitungan manual ketebalan untuk shell dan head 0,6825 inch. Nilai defleksi maksimum akibat beban angin adalah 0,03137 inci dan nilai tegangan angin menggunakan software adalah 2358,2 psi. Dan nilai momen base shear tidak melebihi 80% dari base shear akibat beban gempa sebesar 2916,92 kips.ft > 46,585 kips.ft.

Kata kunci: Crude Reactant, Defleksi, Desain, Vessel, beban angin

## Abstract

The need for chemical raw materials for industry is increasing with the of industry in Indonesia. Therefore, the new amine production facility itself is designed to produce 20000 metric tonsof amine compounds per year, where there isone important unit for preparing raw material feed, namelyt the alcohol preheat unit. In the alcohol preheat unit there is a pressure vessel, namely crude reactant vessel that functions as heating container for alcohol, where the alcohol mixes with the vent fluid and becomes raw material feed. In the design consider internal pressure, external pressure, maximum allowable working pressure (MAWP) and calculation of wind and earthquake loads. Reviewing the design results based on the code and standards of ASME Section VIII Division I and ASCE 7-16 as well as modeling and simulation using software. Based on the results of the manual calculation of thickness for the shell and head 0.6825 inch. The maximum value of deflection due to wind load is 0.03137 inch and the value of wind stress using software is 2358.2 psi. And the moment base shear value does not exceed 80% of the base shear due to the earthquake load of 2916.92 kips.ft > 46.585 kips.ft.

Keyword: Crude Reactant, Deflection, Desain, Vessel, wind load

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan baku kimia untuk industri semakin meningkat dengan berkembangnya industri di Indonesia. Maka dari itu, *new amine production facility* sendiri dirancang untuk menghasilkan senyawa amine sebanyak 20000 *metric ton per year*, *New amine production facility* akan beroperasi 24 jam sehari dan 7 hari seminggu secara kontinyu yang artinya proses produksi dilakukan secara terus menerus tanpa berhenti. Dimana ada salah satu unit penting untuk mempersiapkan *raw material feed* yaitu unit *alcohol preheat*. Pada unit *alcohol preheat* terdapat *pressure vessel* yaitu *crude reactant vessel* berfungsi sebagai wadah pemanas untuk *alcohol* dengan *design*

*temperature 280°C* dan *design preesure 116,03 psi* dan dengan *climatic data* sesuai dengan *design basis* proyek tersebut, *crude reactant vessel* merupakan *equipment* penting dimana *alcohol* tersebut bercampur dengan fluida *vent* dan akan menjadi *raw material feed*. Dalam Perancangan *vertical pressure vessel* mempertimbangkan *internal pressure*, *external pressure*, *maximum allowalble working pressure* (MAWP) dan perhitungan terhadap beban angin dan gempa. Peninjauan hasil design berdasarkan *code and standard* ASME Section VIII Divison I dan ASCE 7-16 serta dilakukan pemodelan dan simulasi menggunakan *software*[1].

**2. METODE**




**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 diagram alir di bawah ini.

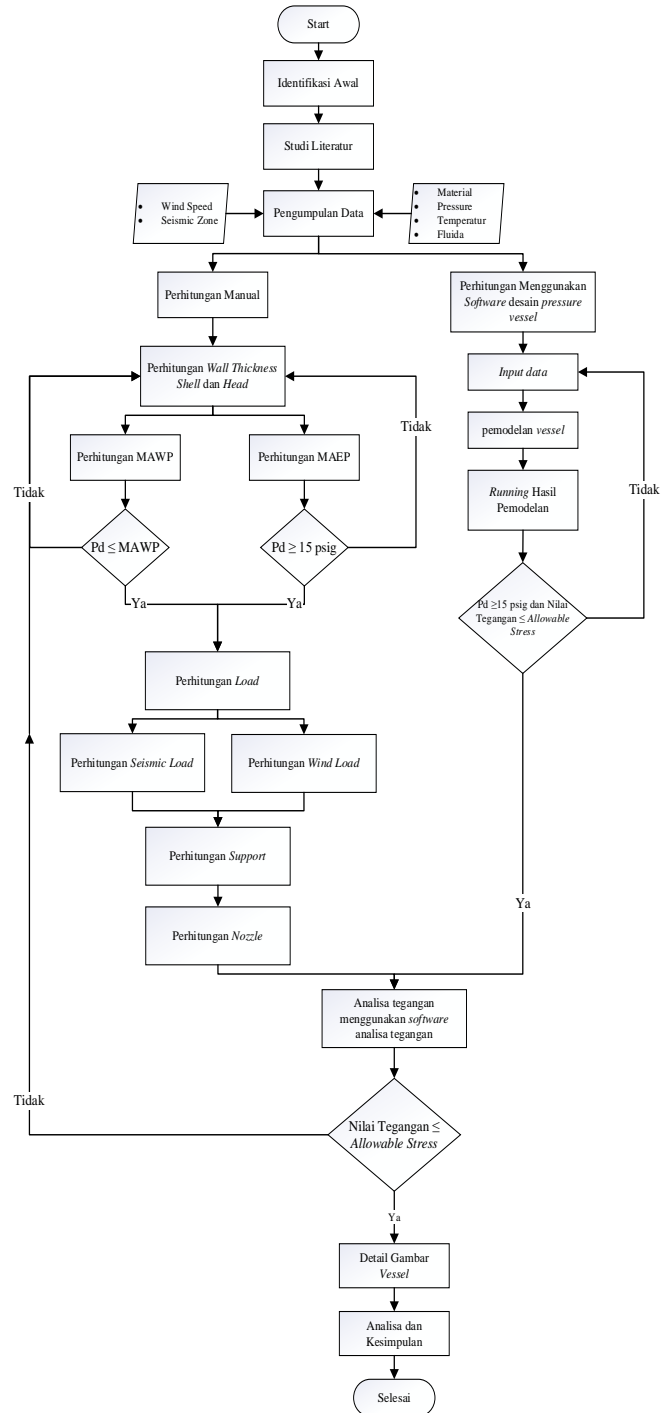
**2.2 Penentuan Ketebalan Shell dan Head**

Penentuan ketebalan *head* dan *shell* dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu, perhitungan berdasarkan *internal pressure formulas in terms of inside diameter* serta *internal pressure formulas in terms outside diameter* dalam kondisi baru (*new*) ataupun dalam kondisi terkorosi (*corroded*). Untuk menentukan ketebalan *shell* dan *head* bejana tekan berdasarkan *tekanan internal* dan dimensi bagian dalam dapat dilakukan dengan rumus sesuai dengan *ASME Section VIII Divisi 1* pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perhitungan ketebalan *shell* dan *head internal pressure formulas in terms of inside diameter*

No.	Bagian (Gambar)	Nama Bagian	Perhitungan
1.		Cylindrical Shell	$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$
2.		Sphere and Hemispherical head	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$
3.		2:1 Ellipsoidal Head	$t = \frac{PD}{2SE - 0,2P}$

Sumber : Megyessy, 2008



**Gambar 1.** Flow Chart Penelitian

**2.3 Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)**

*Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)* adalah tekanan kerja maksimal yang diijinkan oleh suatu bejana tekan. MAWP bejana tekan merupakan tekana maksimum internal atau eksternal, yang dikombinasikan

dengan beban-beban yang mungkin akan terjadi pada saat kondisi temperatur operasi. MAWP bejana tekan ditentukan oleh komponen yang paling lemah (*shell* atau *head*). MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*) *shell* dan *head* digunakan untuk mengetahui tekanan maksimum yang dapat diterima oleh material pada kondisi baru (*New Condition*)[3]. Perhitungan MAWP pada *shell* dan *head* untuk kondisi baru (*New Condition*) dapat dilihat pada Persamaan (1), dan Persamaan (2) berikut ini.

a. MAWP shell dengan menggunakan *inside diameter*

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

b. MAWP 2:1 *ellipsoidal head* dengan menggunakan *inside diameter*

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

**2.4 Maximum Allowable External Pressure (MAEP)**

Perhitungan *maximum allowable external pressure* diperlukan untuk mengetahui apakah tekanan dalam bejana tekan (*Pressure Vessel*) lebih besar dari tekanan luar (*External Pressure*) yaitu sebesar 15 psi. Apabila dari perhitungan *external pressure* lebih besar dari 15 psi, artinya dengan ketebalan yang sudah ditentukan, *vessel* tersebut tidak akan mengalami *buckling* Ketika dalam kondisi vakum, apabila tekanan kurang dari 15 psi maka bisa dilakukan *increasing thickness* atau penambahan *stiffener rings* pada bejana tekan[5].

**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 ANSI atau ASCE 7-16 sebagai berikut.

a. *Wind Force*

$$qz = 0,00256.Kz.Kzt.I.V^2 \tag{3}$$

$$Af = De.h1 \tag{4}$$

$$\tag{4}$$

$$F_1 = qz.G.Cf.Af(lb) \tag{5}$$

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 sesuai dengan Persamaan (6), Persamaan (7) dan Persamaan (8) sebagai berikut[4].

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

$$\Delta_{1-i} = \frac{(L_i + L_2 + \dots + L_{1-i})L_i}{EI_i} \left[ \frac{Q_i L_i}{6} + \frac{Q_i L_i}{2} + M_i \right] \tag{7}$$

$$y_i = y_1 + y_2 + y_i + \Delta_{1-2} + \dots + \Delta_{1-i} \tag{8}$$

**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*. Di Indonesia, pedoman yang wajib digunakan saat ini untuk perencanaan dari SNI 03-1726-2002. SNI mengacu pada code ASCE 7-16, FEMA P750/2009, dan IBC 2009[8].

**2.7 Finite Element dengan Software**

FEM adalah suatu metoda yang secara keseluruhan didasari atas pendekatan dengan menggunakan analisa numerik. Dalam metoda ini, struktur yang akan dianalisa, didiskritisasi menjadi elemen-elemen yang kecil (elemen hingga) yang satu sama lainnya dihubungkan dengan titik nodal (titik diskrit). Melakukan analisis metode elemen hingga dengan *software*

terdiri atas beberapa yaitu *preprocessing, analysis, post processing* [7].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini yaitu desain PID serta *data sheet*. Serta *handbook* desain *pressure vessel*.

#### 3.2 Perhitungan Thickness

Perhitungan tebal *shell* dan *head* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor internal maupun eksternal, serta kombinasi pembebanan akibat angin dan gempa.

Data perhitungan sebagai berikut:

- Tekanan desain P = 116,03 psi
- Jari-jari dalam R = 57,087 in
- Diameter dalam D = 114,173 in
- *Joint efisiensi* E = 1

*Required thickness* dipengaruhi oleh *internal pressure* dan juga beban angin. Tabel 2 berikut ini merupakan hasil perhitungan *required thickness*.

Tabel 2. *Required thickness*

Section	Bagian	t <sub>internal pressure</sub> (in)	t <sub>wind load</sub> (in)	Required Thickness (in)
1	Top Head	0,457	0,1875	0,6825
2	Shell	0,458	0,1875	0,6825

Sumber : Data Penulis, 2021

#### 3.3 Perhitungan Wind Load

Berikut ini merupakan data angin berdasarkan ASCE 7:

- V = 100,662 mph
- I = 1,15
- Exposure C
- Risk Category III

Mencari *wind load, shear* dan *moment* yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Desain Akibat Beban Angin

Fi (lb)	Qi (lb)	Mi (lb.ft)	Section	H section
757,42	757,42	2019,284	1	32,666 ft
1	1			
3163,2	1514,8	27770,562	2	30 ft
99	42			
2696,0	4678,1	91904,580	3	18,183 ft
91	41			

1675,7	7374,2	191749,58	4	7,217 ft
89	31	0		

Sumber : Data Penulis, 2020

#### 3.4 Defleksi

Nilai defleksi akibat pembebanan pada Tabel 3 dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Defleksi

Section	Defleksi (in)
1	0,00000279
2	0,000555
1-2	0,000196
3	0,0013
1-3	0,002931
4	0,003529
1-4	0,02286
Total	0,031371

Sumber: Data Penulis, 2021

#### 3.5 Perhitungan Seismic Load

Perhitungan *seismic load* memerlukan data-data untuk menghitung beban gempa (*Seismic load*) pada bejana tekan (*Pressure vessel*) yang mengacu berdasarkan ASCE 7-16 [2].

- I = 1,25
- Site Class = E
- Risk Category = III

Sebelum melakukan analisa hal pertama yang harus di lakukan adalah menentukan parameter percepatan gempa, yaitu percepatan batuan dasar pada perioda pendek (*S<sub>s</sub>*) pada 0.2 detik = 0,655. percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (*S<sub>1</sub>*)= 0,242. nilai koefesien *F<sub>a</sub>* = 1,20 dan *F<sub>v</sub>* = 2,80. Setelah mendapat nilai dari *S<sub>s</sub>*, *S<sub>1</sub>*, *F<sub>a</sub>*, dan *F<sub>v</sub>* maka, perhitungan selanjutnya yaitu sebagai berikut (*SMS*)=0,786, (*SM1*)=0,678, (*SDS*) = 0,524 dan (*SD1*)=0,452. Maka, didapatkan kategori desain *seismic* adalah D termasuk tinggi dalam kegempaan, Selanjutnya melakukan perhitungan untuk menentukan nilai *fundamental period* (T) yang digunakan untuk menentukan besar beban gempa yang akan diaplikasikan dalam perancangan bejana yaitu 0,478 sec, dengan *response modification factor* adalah 2, selanjutnya mengitung *seismic response coefficient* (*C<sub>s</sub>*) diambil dengan nilai yang paling besar dengan hasil perhitungan yaitu

0,394. Lalu kemudian menentukan besarnya beban lateral akibat gempa dengan berat *vessel* terisi penuh sebesar 147952,22 lb, kemudian menghitung beban geser dasar (*base shear*) 58,231 kips. Kemudian mencari nilai *portion of seismic force* ( $F_t$ ) = 1,949 . Kemudian mencari gaya lateral *per section* seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Gaya lateral per *section*

Sec	W (kips)	h (ft)	W x h	$C_{vx} = \frac{W}{\sum V}$	V	$F_x$
1	7,108	32,6	232,18	0,13	58,2	7,49
2	31,502	30	945,06	0,52	58,2	30,5
3	26,884	18,18	488,83	0,27	58,2	15,8
4	19,241	7,217	138,86	0,08	58,2	4,48
Total						58,2

Sumber : Data Penulis,2021

Setelah itu menghitung nilai momen pada *base* (Mb)

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

$$M_b = 1,949 \text{kips} \cdot 32,666 \text{ft}$$

$$+ \frac{2}{3} (58,231 \text{kips} \cdot 32,666 \text{ft})$$

$$M_b = 2916,918 \text{ft.kips}$$

*Acceptance criteria* untuk momen pada *base* tidak boleh kurang dari 80% *base shear*

$$M_b = 2916,918 \text{ft.kips} \geq 80\% V$$

$$M_b = 2916,918 \text{ft.kips} \geq 80\% 58,231 \text{kips}$$

$$M_b = 2916,918 \text{ft.kips} \geq 46,585 \text{kips}$$

(memenuhi *acceptance criteria*)

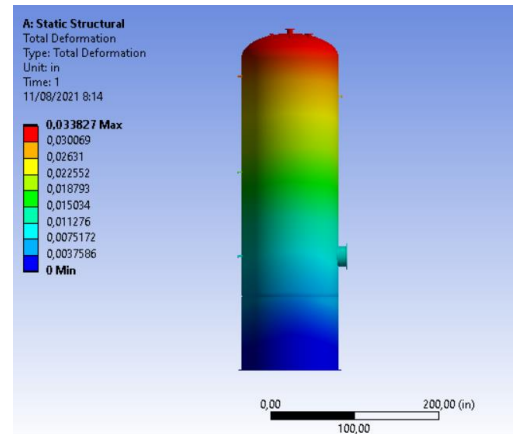
### 3.6 Finite Element dengan Software

analisa *finite element method* dengan *software* untuk simulasi dan menghitung nilai tegangan yang terjadi pada *crude reactant vessel*. Saat membuat geometri *pressure vessel*, pembuatan tinggi *pressure vessel* sebaiknya disesuaikan dengan tinggi *per-section*-nya, agar memudahkan saat pembebanan. Kemudian dilakukan *meshing* Dengan menentukan ukuran *mesh* yang digunakan pada Tabel 6 . Setelah itu dilakukan pembebanan *per section* dengan besar beban seperti pada Tabel 4. Kemudian setelah di *running* dengan pemilihan *output* berupa deformasi dan *stress* akan tampak seperti pada *Gambar 1* dan *Gambar 2*.

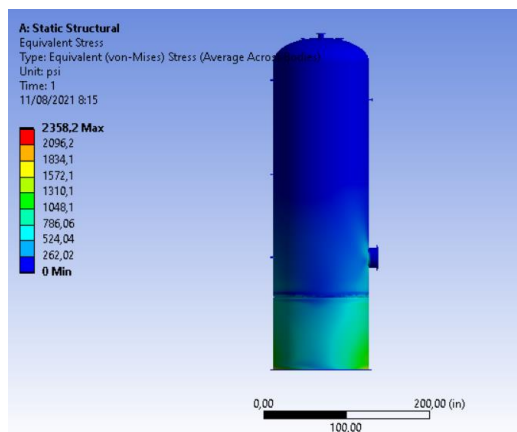
**Tabel 6.** Ukuran *mesh*

No	Ukuran <i>mesh</i> (in)	Nilai tegangan (psi)
1	5,5	1726,1
2	5	1972,6
3	2	2291,8
4	1,5	2358,2

Sumber : Data Penulis,2021



**Gambar 1.** Deformasi pada *vessel*



**Gambar 2.** Stress pada *vessel*

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perhitungan manual serta analisa menggunakan *software*, serta perhitungan terhadap beban angin, didapatkan hasil ketebalan akhir *shell* dan *head* yaitu 0,6825 *inch*, serta nilai MAWP *shell* sebesar 157,843 psi dan *head* 158,708 psi dinyatakan aman karena lebih besar dari *design pressure*. Sedangkan untuk perhitungan manual MAEP yang terjadi pada *shell* sebesar 20,938 psi dan *head* sebesar 52,945 psi dinyatakan aman untuk MAEP karena lebih besar dari 15 psi. Untuk

maksimum defleksi yang terjadi masih memenuhi standar yaitu 0,031371 in , masih dalam kategori aman karena tidak melebihi *maximum allowable deflection* yaitu 1,954 inch per 32,666 ft. Momen yang terjadi pada *base* akibat adanya *seismic load* juga masih aman dimana nilai *moment base shear* sebesar 2916,92 kips.ft, dimana nilai tersebut lebih besar dari 80% *base shear* yaitu sebesar 46,585 kips.ft (2916,92 kips.ft > 46,585 kips.ft). Kemudian untuk analisa tegangan dari *software* dalam kategori aman, di mana nilai tegangannya 2358,2 psi atau di bawah nilai *allowable stress* material yaitu sebesar 15519 psi.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini. Khususnya Jurusan Teknik Perpipaan PPNS yang telah memberikan dukungan kepada tim peneliti.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Aziz, A. H. d. I. H., 2014. *Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) untuk Separasi 3 Fasa*. s.l., s.n.
- [2] ASCE, 2016. ASCE 7 : Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures . In: Washington: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, p. 408.
- [3] ASME, 2019. Rule for Construction of Pressure Vessel, Section VIII Div. 1. In: New York: AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, p. 798.
- [4] ASME, 2017. Boiler and Pressure Vessel Code sec II D. In: New York: AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, p. 1192.
- [5] Bednar, H. H. (1986). *Pressure Vessel Design Handbook* (Second ed.). KRIEGER PUBLISHING COMPANY.
- [6] IBC. (2018). *International Building Code*. INTERNATIONAL CODE COUNCIL, INC.
- [7] Megyessy, E. F., 1998. *Pressure Vessel Handbook*. Twelfth ed. Tulsa, Oklahoma: Pressure Vessel Publishing, Inc..
- [8] Moss, D. R. (2013). *Pressure Vessel Design Handbook* (Fourth ed.). Gulf Professional Publishing.