

Perancangan Bejana Tekan Vertikal Akibat Beban Angin dan Gempa Terhadap Tegangan dan Defleksi Menggunakan PV Elite dan Metode Elemen Hingga

Muhammad Luthfi Septiawan^{1*}, Mohammad Miftachul Munir², Muhamad Ari³

Program Studi D4 Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111^{1*,2,3}

Email: muhammadluthfi@student.ppns.ac.id^{1*}; m.munir@ppns.ac.id²; m.ari@ppns.ac.id³;

Abstract – A pressure vessel was a closed storage vessel to hold a liquid fluid or pressurized gas. PV Elite software was used to design vessel efficiently. It is better to analyzed using ANSYS to determine the stress on each shell and head, as well as deflection due to wind load and seismic load. The result of manual design of the pressure vessel obtained a minimum thickness of head was 1,764 inches, and shell was 1,855 inches. The design used PV Elite obtained a minimum thickness of head was 1,764 inches, and shell was 1,855 inches. From these results, a deviation of 0% is obtained. The results of stress that occurred due to earthquake loads and wind loads through ANSYS simulations and obtained maximum stress at leg support was 15794 psi due to combination load. As for the manual calculation of stress obtained due to combination load of 9731,724 psi. The maximum stress that occurred did not exceed the maximum allowable stress of the material is 17100 psi. The largest deflection result was 0.043118 inch at an altitude of 13,277 ft under combination load condition. The deflection was occur qualified. Due to the maximum deflection of 6 inch at an altitude of 100 ft.

Keyword: Pressure vessel, Oil tank, Finite element method, PV elite, Design.

Nomenclature

- t = wall thickness, inch.
 P = design pressure, atau maximum allowable working pressure, psi.
 S = maximum allowable stress value of material, psi.
 E = joint efficiency
 D = outside diameter, inch.
 R = outside radius, inch.
 W = weight of vessel or operating weight, lb.
 N = number of legs
 D = outside diameter vessel, ft.
 A = cross sectional area of leg, inch².
 L = length of leg, inch.
 I = moment of inertia of on leg perpendicular to P , inch⁴.
 $\sum I$ = summation of moments of inertias of all legs perpendicular to P , inch⁴.
 P = horizontal force, lb.
 M_b = overturning moment at base, lb.ft.
 M_t = overturning moment at tangent line, lb.ft.
 e = eccentricity of legs, inch.
 (I/c) = section modulus of leg, inch³.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak dan gas alam. Di masa saat ini, minyak dan gas alam sangat diperlukan serta memberikan dampak yang signifikan bagi kehidupan manusia. Jadi, perlu upaya untuk mengekstraksi minyak dan gas alam. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi minyak dan gas adalah adanya bejana tekan. Banyak industri yang bergerak di bidang teknologi bejana tekan. Bejana tekan (*pressure*

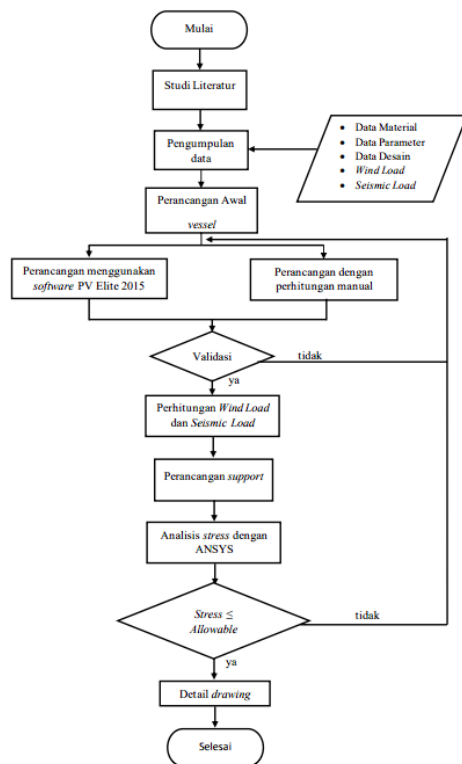
vessel) adalah sebuah penyimpanan tertutup untuk menampung fluida cair atau gas serta memprosesnya, bejana tekan dapat menampung fluida bertemperatur yang berbeda dengan temperatur lingkungan sekitar serta dapat menampung fluida bertekanan tinggi. Dalam sebuah produksi bejana tekan diperlukan adanya perhitungan yang tepat, diantaranya perlu perhatian dalam perhitungan tekanan dalam (*internal pressure*), perhitungan tekanan luar (*external pressure*), perhitungan *maximum allowable working pressure* (MAWP), perhitungan *support*, perhitungan *wind load*, dan perhitungan *seismic load*. Perhitungan *wind load* dan *seismic load* diperlukan untuk mengetahui bahwa ketebalan yang digunakan pada shell dan head mampu terbebani atau tidak, serta menentukan desain *support* dari bejana tekan. Untuk memperhitungkan secara manual ketebalan plat yang dibutuhkan dan desain setiap komponen dari bejana tekan mengacu pada ASME *sec. VIII* dan *Pressure Vessel Handbook* Eugene F. Megyesy. Dalam perhitungan manual ini diperlukan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, supaya waktu produksi lebih singkat dan efisien digunakan sebuah *software* PV Elite. Jadi, untuk menghindari sebuah kesalahan dari perhitungan. Dilakukan verifikasi hasil perhitungan menggunakan PV Elite dengan perhitungan manual. Selain melakukan perhitungan desain bejana tekan. Lebih baik dilakukan analisa menggunakan ANSYS untuk mengetahui tegangan pada setiap *shell* dan *head*, serta *maximum deflection* akibat pengaruh *wind load* dan *seismic load* pada separator *Gas-Liquid*

Cylindrical Cyclone (GLCC). Dengan menggunakan ASCE 7-10 dan UBC. Selain *code* dan *standart* yang telah disebutkan, juga terdapat beberapa buku dan jurnal tentang *pressure vessel* sebagai acuan. Dengan melakukan perhitungan manual, perhitungan PV Elite, dan Analisa kekuatannya dengan ANSYS diharapkan desain sebuah *pressure vessel* tersebut memiliki keamanan yang terjamin.

2. METODOLOGI

2.1 Metodologi Penelitian

Untuk memenuhi tujuan penelitian diperlukan diagram alur yang berisi langkah penyelesaian seperti pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Diagram alur penelitian

2.2 Perhitungan Ketebalan

Perhitungan ketebalan pada *head* dan *shell* bisa menggunakan 2 formula yaitu perhitungan ketebalan berdasarkan *inside dimension* atau *outsidedimension*. Adapun perhitungan ketebalan berdasarkan *outside dimension* pada *head* dengan persamaan 1 dan persamaan 2 untuk ketebalan *shell* [5].

Rumus tebal *head* (*outside dimension*):

$$t = \frac{PD}{2SE+1.8P} \quad (1)$$

Rumus tebal *shell* (*outside dimension*):

$$t = \frac{PR}{SE+0.4P} \quad (2)$$

2.3 Perhitungan MAWP

Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) merupakan tekanan maksimal yang diijinkan oleh bejana tekan saat kondisi kerja. Tekanan pada bagian dalam bejana tekan yang terjadi karena tekanan fluida muatan. Untuk nilai tekanan desain internal disarankan lebih besar 30 psi atau 10% dari tekanan internal saat beroperasi. Perhitungan MAWP *head* mengikuti persamaan 3 dan persamaan 4 untuk *shell* [5].

Rumus MAWP *head* (*outside dimension*):

$$MAWP = \frac{2SEt}{D-1.8t} \quad (3)$$

Rumus MAWP *head* (*outside dimension*):

$$MAWP = \frac{SEt}{R-0.4t} \quad (4)$$

2.4 Perhitungan MAEP

Maximum Allowable External Pressure (MAEP) untuk mengetahui apakah bejana tekan dapat menahan tekanan eksternal saat kondisi vakum. Tekanan yang terjadi pada bagian luar bejana tekan seperti pengaruh lingkungan sekitar. Adapun *Maximum Allowable External Pressure* adalah ≥ 15 psi [5].

2.5 Perhitungan Beban Angin

Wind load adalah gaya yang bereaksi pada permukaan sebab adanya perpindahan massa udara yang bergerak secara horizontal dengan udara bertekanan tinggi menuju area bertekanan udara rendah [7]. Beban tersebut akan dipertimbangkan dalam perancangan bejana tekan vertikal, karena dapat menyebabkan defleksi pada bejana tekan. Serta mengakibatkan *stress* pada *support*. Perhitungan beban angin pada bejana tekan mengacu pada ASCE 7-10 *Sec.26*, *Sec.29* dan UBC 2015.

2.6 Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan beban gempa dilakukan untuk mencegah risiko apabila terjadi gempa. Kerusakan yang terjadi akibat beban gempa cukup besar. Perhitungan beban gempa pada bejana tekan mengacu pada ASCE 7-10 *Sec.11* dan *Sec.12*.

2.7 Perhitungan Momen

Perhitungan momen akibat beban angin dan beban gempa pada setiap *section* berbeda-beda. Dari perhitungan tersebut akan didapatkan momen total pada *moment at base* dan *moment at tangent line* [2].

2.8 Perhitungan Tegangan pada Leg Support

Tegangan yang terjadi pada leg support diakibatkan oleh pembebanan yang diberikan. Perhitungan tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut [2].

Perhitungan *maximum total axial load at leeward side*:

$$C = \left(\frac{W}{N}\right) + \left(4 \times \frac{M_b}{ND}\right) \quad (5)$$

Perhitungan *eccentric load at column top*:

$$P_1 = \left(\frac{W}{N}\right) + \left(4 \times \frac{M_t}{ND}\right) \quad (6)$$

Perhitungan *lateral load per column akibat force*:

$$F = \frac{PI}{\Sigma I} \quad (7)$$

Perhitungan *axial compression in leg*:

$$f_a = \frac{C}{A} \quad (8)$$

Perhitungan *bending stress in leg*:

$$f_b = \frac{P_1 e}{(I/c)} + \frac{F(3/4L)}{(I/c)} \quad (9)$$

2.9 Software PV Elite

PV Elite merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk perancangan *pressure vessel*. PV Elite menyediakan versi yang memudahkan penggunaanya dibanding *software* lainnya. *Software* ini telah menggunakan ASME sebagai acuan dalam perancangannya sehingga diterima dalam perindustrian. *Software* ini digunakan hanya untuk perancangan dan perhitungan *thickness*.

2.10 Simulasi dengan Software ANSYS

Metode elemen hingga adalah salah satu metoda numerik untuk memperoleh perkiraan solusi permasalahan dalam analisa teknik dan ilmiah, meliputi masalah mekanika struktural, perpindahan panas, mekanika fluida, dan masalah lainnya. Supaya mendapatkan pemodel yang realistis, setiap elemen diberi kondisi limit. Kondisi limit dapat berupa parameter pemberian beban, kondisi material, atau kondisi lingkungan. Beberapa model memiliki kondisi tertentu yang melimitasi (*constraint*) pada sifat –sifatnya. *Software* ANSYS digunakan dalam menganalisa metode elemen hingga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan Bejana Tekan

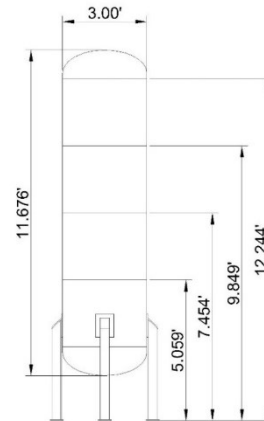
Adapun perancangan bejana tekan secara manual maupun *software* PV Elite akan dilakukan perbandingan untuk mengetahui besarnya deviasi. Hasil perhitungan keduanya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Manual dan PV Elite

| Parameter | | Perhitungan | |
|-------------------|----------------------------------|-------------|----------|
| | | Manual | PV Elite |
| Internal pressure | <i>t calculated shell</i> (inch) | 1.855 | 1.8552 |
| | <i>t used shell</i> (inch) | 2.3622 | 2.3622 |
| | <i>t calculated head</i> (inch) | 1.764 | 1.7643 |
| | <i>t used head</i> (inch) | 2.3622 | 2.3622 |
| | <i>MAWP shell</i> (psi) | 2769.829 | 2770.08 |
| | <i>MAWP head</i> (psi) | 2975.935 | 2976.184 |
| External pressure | <i>t calculated shell</i> (inch) | - | 0.1915 |
| | <i>t used shell</i> (inch) | 2.3622 | 2.3622 |
| | <i>t calculated head</i> (inch) | - | 0.0937 |
| | <i>t used head</i> (inch) | 2.3622 | 2.3622 |
| | <i>MAEP shell</i> (psi) | 1574.699 | 1544.01 |
| | <i>MAEP head</i> (psi) | 1312.24 | 1297.75 |

3.2 Perhitungan Beban Angin

Dalam perhitungan beban angin biasanya bejana tekan dibagi menjadi beberapa *section*, dapat dilihat pada Gambar 2. Adapun hasil perhitungan beban angin dan momen yang terjadi berdasarkan ASCE 7-10 disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 UBC 2015.



Gambar 2. Pembagian Section Bejana Tekan

Tabel 2. Hasil Perhitungan Beban Angin dan Momen ASCE

| Sec. | z [ft] | F [lb] | M_b [lb.ft] | M_t [lb.ft] |
|------|--------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 13,277 | 33,391 | 426,0724453 | 326,3995417 |
| 2 | 12,244 | 76,260 | 842,4065128 | 614,7702985 |
| 3 | 9,849 | 73,426 | 635,2431711 | 416,0672056 |
| 4 | 7,454 | 69,951 | 437,6486202 | 228,8447951 |
| 5 | 5,059 | 93,592 | 313,0668135 | 33,69328934 |

Momen total yang didapatkan akibat beban angin berdasarkan ASCE 7-10 yaitu 2654.437 lb.ft *total moment at base* dan 1619.783 lb.ft *total moment at tangent line*.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Beban Angin dan Momen UBC

| Sec. | z [ft] | F [lb] | M_b [lb.ft] | M_t [lb.ft] |
|------|--------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 13,277 | 32,915 | 419,9963389 | 321,7448443 |
| 2 | 12,244 | 75,173 | 830,3931764 | 606,003222 |
| 3 | 9,849 | 72,379 | 626,1841364 | 410,1337813 |
| 4 | 7,454 | 68,953 | 431,407429 | 225,5813001 |
| 5 | 5,059 | 92,258 | 308,6022505 | 33,21279826 |

- Tugas Akhir, NRP:0715040025, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Surabaya.
- [8] UBC. (2015). International Building Code. 4051 West Flossmor Road, Country Club Hills, IL.