

PERANCANGAN TANGKI PENYIMPAN UDARA BERBENTUK SILINDER ELIPSOIDAL DENGAN VOLUME 8 M³ DAN TEKANAN MAKSIMUM 15 KG/CM²

Sigit Yulianto

Program Studi Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta
yuliantosigit9@gmail.com

Abstrak

Makalah ini membahas tentang perancangan tangki penampung udara berbentuk silinder elipsoidal dengan volumen 8 m³ dan tekanan maksimum 10 kg/cm². Pengertian perancangan disini dibatasi pada perancangan *body* dari tangki tersebut. Sistem kerja tangki penyimpan udara ini memenuhi klasifikasi bejana tekanan sehingga perancangannya juga dilakukan dengan mengacu kepada *standard* atau *code* tentang bejana tekanan. Penulis menggunakan ASME BPVC (*American Society of Mechanical Engineers, Boiler and Pressure Vessel Codes*) sebagai rujukan utama dalam perancangan ini dikarenakan ASME BPVC merupakan *standard* atau *code* internasional yang paling banyak dipakai sebagai rujukan di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Proses perancangan dimulai dengan melakukan identifikasi masukan desain yang pada intinya merupakan persyaratan kebutuhan penggunaannya, meliputi volume tangki, tekanan maksimum dan temperatur operasi maksimumnya. Masukan desain ini diolah dengan menggunakan persyaratan dalam ASME BPVC untuk kemudian menghasilkan keluaran desain yang berupa pemilihan material, penentuan dimensi atau bentuk tangki dan perhitungan ketebalan material untuk silinder (*shell*) dan kepala (*head*) serta *setting relief valve* dan penentuan tekanan untuk uji hidrostatik. Dari kegiatan perancangan ini didapatkan keluaran desain sebagai berikut: tangki berbentuk silinder *ellipsoidal* dan material yang dipilih adalah SA-516 Grade 70; dimensi tangki meliputi diameter bagian dalam *shell* silinder 1500 mm, panjang silinder 4000 mm, *ellipsoidal head* dengan tinggi *head* 375 mm, *knuckle radius* 255 mm dan *spherical/ellipsoidal radius* 285 mm; ketebalan material *shell* adalah 10 mm dan ketebalan material *head* adalah 12 mm; tekanan membuka *relief valve* diatur pada 15,75 kg/cm² dan tekanan uji hidrostatik adalah 22,5 kg/cm².

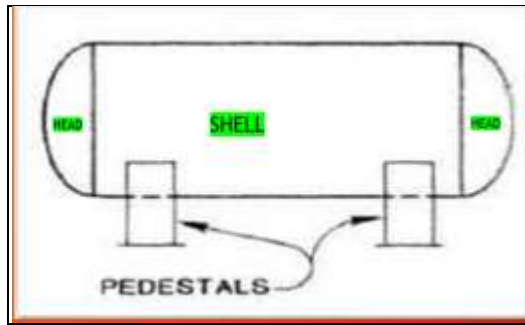
Keywords : tangki peyimpan udara, bejana tekan, *shell*, *head*, *relief valve*, uji hidrostatik

1. PENDAHULUAN

Tangki penyimpan udara (*air receiver*) adalah tangki atau bejana yang digunakan untuk menampung udara dalam jumlah tertentu untuk tujuan dialirkan ke sistem atau peralatan dan tempat yang membutuhkan. Udara yang ditampung berasal dari sistem kompresor udara. Untuk tujuan keamanan, tangki penyimpan udara biasanya ditempatkan di ruangan utilitas yang berjarak cukup jauh dari tempat yang membutuhkan, misalnya ruangan produksi dan ruangan workshop. Oleh karena itu, supaya dapat mengalirkan udara ke ruangan yang membutuhkan, maka tangki penyimpan udara harus dibuat bertekanan yang besar tekanannya bergantung pada jarak antara ruangan yang membutuhkan dan lokasi tangki penyimpan udara serta tekanan yang dibutuhkan di ruangan yang membutuhkan urada tersebut. Sedangkan kebutuhan volume tangki penyimpan udara bergantung kepada kebutuhan udara di masing-masing tempat.

Hampir semua industri membutuhkan tangki penyimpan udara untuk keperluan produksi dan/atau workshop nya.

Dengan penjelasan diatas, tangki penyimpan udara memenuhi klasifikasi sebagai bejana tekanan. Secara teori, bejana tekanan dapat dibuat dalam beberapa bentuk, misalnya silinder mendatar, silinder vertikal maupun bola, dimana untuk tangki berbentuk silinder membutuhkan tutup (*head*) yang bisa berbentuk elip maupun setengah lingkaran, namun demikian, untuk tangki penyimpan udara yang paling banyak digunakan adalah berbentuk silinder dengan tutup berbentuk elips. Tangki silinder dengan tutup berbentuk elips disebut sebagai tangki silinder elipsoidal. Skema dasar bejana tekan berbentuk silinder elipsoidal ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Skema Dasar Bejana Tekan Silinder Elipsoidal

Sumber : Analisis Mandiri (2024)

Makalah ini membahas perancangan dasar tangki penyimpan udara berbentuk silinder elipsoidal dengan kapasitas volume 8 m³ dan tekanan desain 10 kg/cm². Dengan tekanan desain 10 kg/cm² maka tangki ini memenuhi definisi bejana tekanan (Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia, 2016) dan karenanya perancangan desain nya dapat mengacu ke ASME BPVC Section VIII Division 1. Perancangan desain dengan mengacu ke ASME ini dapat menjamin desain yang aman untuk digunakan atau dioperasikan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan bentuk perancangan dasar. Parameter yang menjadi dasar perancangan disebut sebagai masukan desain yang merupakan parameter dasar dari tangki penyimpan udara yang merupakan kebutuhan dari pengguna atau pelanggan. Masukan desain kemudia diolah dan dihitung dengan menggunakan ASME BPVC Section VIII Division 1 dan ASME BPVC Section II untuk menghasilkan keluaran desain. Keluaran desain adalah parameter yang diperlukan sehingga dapat diteruskan dengan tahapan proses berikutnya yaitu pembuatan *construction drawing* dan proses fabrikasi.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi masukan desain

Masukan desain (*design inputs*) untuk perancangan ini dapat dirangkumkan sebagai berikut, lihat tabel 1:

Tabel 1 Parameter Masukan Desain

Parameter	Spesifikasi
Volume	8 m ³
Tekanan maksimum	15 kg/cm ²
Temperatur maksimum	122 °F (50 °C)
Jenis fluida	udara

Sumber : Analisis Mandiri (2024)

3.2 Pemilihan material

Dasar pemilihan material yang digunakan adalah material tersebut harus memenuhi ASME BPVC Section II (ASME BPVC Section II, Part D, 2017) dan material tersebut mudah untuk didapatkan di pasaran. Berdasarkan kedua kriteria tersebut maka dipilih material SA-516 Grade 70. SA-516 Grade 70 adalah kode penomoran baja menurut ASTM (Callister & Rethwisch, 2014) merupakan baja karbon rendah berbentuk *plate* atau lembaran yang banyak digunakan untuk pembuatan bejana tekanan dengan tingkat tekanan rendah. Dengan menelusuri pada ASME BPVC Section II Part D, maka material ini setara dengan K02700 untuk kode UNS (*Universal Numbering System*), yang mempunyai *tensile strength* 70000 PSI dan *yield strength* nya 38000 PSI. Lebih lanjut, material ini diijinkan untuk digunakan pada konstruksi bejana tekanan dengan temperatur maksimum 1000°F, dengan demikian material ini memenuhi kriteria untuk tangki penyimpan udara dengan temperatur maksimum 122°F sesuai dengan parameter pada masukan desain. *Maximum allowable stress*, *S*, yang bekerja pada material ini pada temperatur 200°F adalah 20000 PSI (ASME BPVC Section II, Part D, 2017); nilai *S* disini artinya material ini tidak boleh menerima tegangan melampaui 20000 PSI, dan jika menerima tegangan diatasnya, kemungkinan akan mengalami kegagalan.

3.3 Perhitungan dimensi bejana

Untuk tangki penyimpan udara berbentuk silinder elipsoidal, maka volume tangki merupakan penjumlahan volume silinder (*shell*) dengan volume kedua bagian kepalanya (*head*) sehingga untuk *ellipsoidal* 2:1, maka volumenya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dibawah ini (Moss & Basic, 2013):

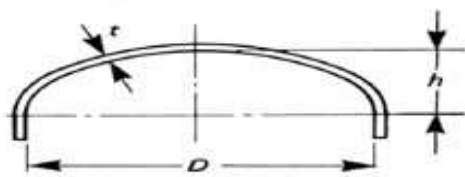
$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \times L + 2 \times \left(\frac{\pi}{24} D^3 \right) \quad (1)$$

Dimana:

- $V = \text{volume}$
- $D = \text{diamater bagian dalam silinder}$
- $L = \text{panjang silinder}$

Karena diamater dan panjang silinder merupakan variabel yang saling berpengaruh terhadap volume silinder, maka salah satu diantaranya harus ditetapkan terlebih dahulu. Jika diamater bagian dalam silinder ditetapkan terlebih dahulu, yaitu 1500 mm atau 1,5m, maka panjang silinder L berdasarkan persamaan (1) adalah 4 m atau 4000 mm.

Tahap berikutnya adalah menentukan dimensi kepala (*head*). Sketsa *ellipsoidal head* ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar2 Skema *Ellipsoidal Head*
Sumber : Analisis Mandiri (2024)

Untuk ellipsoidal 2:1, tinggi ellips, h adalah $\frac{1}{4}D$, *knuckle radius* adalah $0.17D$ dan *spherical radius* adalah $0.19D$ (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017). Dengan melakukan perhitungan sesuai rumus-rumus ini, maka didapatkan tinggi ellips h adalah $\frac{1}{4}$ dikalikan 1500mm atau 375 mm, *knuckle radius* adalah $0,17$ dikalikan 1500 mm atau 255 mm dan *spherical radius* adalah $0,19$ dikalikan 1500 mm atau 285mm. Ringkasan bentuk dan dimensi bejana tangki penyimpanan udara dapat ditampilkan dalam tabel 2 berikut ini.

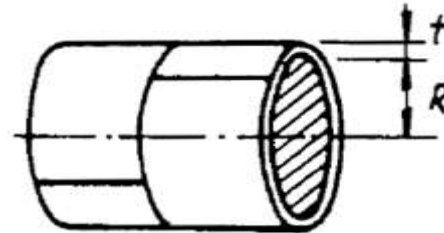
Tabel 2 Dimensi Dan Ukuran Bejana	
Parameter	Spesifikasi
Bentuk bejana	Silinder <i>ellipsoidal</i>
Panjang shell	4000 mm
Diameter internal shell	1500 mm
Tinggi head	375 mm
Knuckle radius	255 mm
Spherical radius	285mm

Sumber : Analisis Mandiri (2024)

3.4 Perhitungan ketebalan shell

Dinding *shell* berbentuk silinder akan dibuat dari material berupa beberapa lembaran yang disambung menggunakan pengelasan, sebagaimana skema shell berbentuk silinder yang ditampilkan dalam gambar 3 berikut ini. Jari-jari bagian dalam silinder dinyatakan

dalam R dan ketebalan silinder dinyatakan dalam t . Sambungan beberapa lembaran material tersebut dapat mengakibatkan terjadinya tegangan baik secara *circumferensial* maupun secara *longitudinal*.



Gambar 3 Skema *Shell* Silinder
Sumber : Analisis Mandiri (2024)

Ketebalan minimum *shell*, t , berbentuk silinder yang dirancang aman untuk menanggung tekanan internal P harus memenuhi baik untuk tegangan *circumferensial* maupun *longitudinal* sebagaimana diatur dalam ASME BPVC Section VIII Division 1 UG-27 (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017). Untuk tegangan *circumferensial* harus memenuhi persamaan (2) dan untuk *longitudinal* harus memenuhi persamaan (3):

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad (2)$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P} \quad (3)$$

Dimana:

$P = \text{tekanan desain (PSI)}$

$R = \text{jari-jari internal silinder (in)}$

$E = \text{Joint efficiency}$

$S = \text{maximum allowable stress material pada temperatur operasi (PSI)}$

Sesuai dengan informasi pada masukan desain, tekanan desain P adalah 15 kg/cm² atau 213,35 PSI, Jari-jari R adalah setengah dari diamater D sehingga R adalah 750mm atau 29,5276in. Nilai S berdasarkan penelusuran pada paragraf 3.2 diatas adalah 20000PSI. Selanjutnya *joint efficiency* (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017) dipilih 1 yaitu dengan ketentuan untuk melakukan 100% pengujian *radiography* pada semua sambungan atau lasannya.

Dengan memasukkan nilai-nilai diatas ke dalam persamaan (2) dan (3) maka didapatkan nilai ketebalan berdasarkan persamaan (2) dan

(3) masing-masing adalah 0,317in (atau 8,0518 mm) dan 0,157in (atau 3,9878 mm). Untuk kedua hasil perhitungan tersebut, maka diambil yang lebih aman yaitu 0,317 in (atau 8,0518 mm). Dengan menambahkan *corossion allowance* 1 mm untuk mengantisipasi korosi, maka didapatkan ketebalan minimum menjadi 9,0518 mm dan jika dibulatkan ke tebal pelat yang tersedia adalah 10mm.

Dengan menggunakan ketebalan 10 mm, maka tegangan maksimum yang bekerja pada shell dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan didapatkan

3.5 Perhitungan ketebalan head

Ketebalan minimum *ellipsoidal head* yang aman untuk menanggung tekanan desain P diatur dalam ASME BPVC Section VIII Division 1 UG-32 (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017) dan dinyatakan dalam persamaan (4) berikut:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0,2P} \quad (4)$$

Dimana:

P = tekanan desain (PSI)

D = internal diameter head skirt (in)

E = Joint efficiency

S = maximum allowable stress material pada temperatur operasi (PSI)

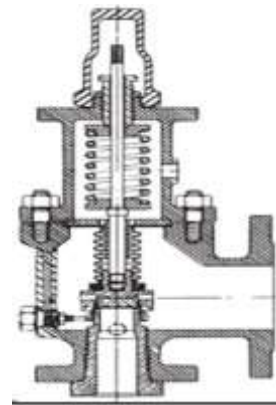
Internal diameter head skirt pada *ellipsoidal head* akan mempunyai nilai yang sama dengan *internal diameter shell*-nya. Dengan memasukkan nilai-nilai P , D , E dan S yang sudah diketahui sebelumnya maka didapatkan nilai t adalah 0,320in atau 8,128 mm. Dengan menambahkan *corossion allowance* sebesar 1 (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017) maka ketebalan minimum menjadi 9,128mm.

Ellipsoidal head dibentuk dari material yang berupa lembaran menjadi bentuk *ellips*, melalui proses penggilingan (*rolling*) bertahap yang akan menyebabkan penurunan ketebalan sekitar 10-20% dan untuk tujuan perancangan ini, dipakai faktor penurunan ketebalan 15%. Sehingga diperlukan penambahan sebesar 15% sehingga ketebalan material awal yang dipakai menjadi 10,4972 mm, dan mempertimbangkan ketersediaan material di pasaran, maka dipilih ketebalan 12 mm.

3.6 Relief valve

Relief valve (katup pengaman) adalah alat pengaman utama yang dipersyaratkan pada konstruksi bejana tekanan. Relief valve akan terbuka dan mengeluarkan fluida yang ada dalam bejana pada tekanan setting yang aman. Jika bejana tekanan tidak dilengkapi dengan relief valve, maka jika terjadi tekanan berlebih padanya dapat mengakibatkan ledakan, dan ini merupakan bahaya utama dari pengoperasian bejana tekanan. *Relief valve* dapat dibeli di pasaran sesuai spesifikasi yang diperlukan.

Ketentuan *relief valve* dalam ASME BPVC Section VIII Division 1 diatur dalam paragraf “UG-134 pressure setting and performance requirements” dimana maksimum *setting* tekanan relief valve adalah 105% (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017) dari tekanan desain. Karena tekanan desain pada perancangan ini adalah 15 kg/cm², maka tekanan aman untuk membukan *relief valve* nya adalah 105% dikalikan 15 kg/cm² yaitu 15,75 kg/cm². Salah satu skema *relief valve* (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017) ditampilkan pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Skema Relief Valve
Sumber : Analisis Mandiri (2024)

3.7 Uji hidrostatik

Uji hidrostatik dilakukan untuk mengetahui apakah ada kebocoran-kebocoran pada sambungan las-lasan dan untuk mengetahui kekuatan konstruksi pada bejana tekanan. Jika hasil uji hidrostatik lulus, maka sekaligus berfungsi untuk mengkonfirmasi bahwa perancangan ini memenuhi standard ASME. Sesuai dengan ASME BPVC Section VIII Division 1, UG-136(d), *hydrostatik test*

dilakukan pada 1,5 kali dari tekanan desain (ASME BPVC Section VIII Division 1, 2017), sehingga uji hidrostatis pada perancangan ini dilakukan pada 1.5 dikalikan 15 kg/cm² atau 22,5 kg/cm².

Pada pelaksanaan uji hidrostatis, bejana tekanan diisi dengan air secara penuh, kemudian diberi tekanan/dorongan angin dari kompressor, dan secara perlahan-lahan dinaikkan tekanannya sampai mencapai 22,5 kg/cm². Pada tekanan 22,5 kg/cm², tekanan ditahan dan dilakukan pengamatan secara *visual* terhadap kemungkinan adanya kebocoran retakan-retakan terutama di bagian sambungan las-lasan dan penggelembungan badan tangki. Jika terjadi kebocoran akan ditandai dengan rembesan air yang keluar dari bejana ataupun penurunan pembacaan tekanan pada *pressure gauge*.

Uji hidrostatis tidak dimaksudkan untuk melakukan uji pecah (*burst test*) pada bejana tekanan, oleh karena itu secara kalkulasi, bejana tekanan yang dirancang dengan memenuhi ASME BPVC masih aman dari ledakan jika tekanan di dalamnya mencapai 1,5 kali dari tekanan desainnya, namun demikian sebagaimana dibahas pada paragraf 3.6 diatas, *relief valve* nya diharuskan membuka jika tekanan di dalamnya mencapai 105% dari tekanan desainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME BPVC Section II, Part D, *Properties – Materials*, (2017). ASME Boiler and Pressure Vessel Committee on Materials, ASME Press, USA
- ASME BPVC Section VIII Division 1 *Rules for Construction of Pressure Vessels*, (2017). ASME Boiler and Pressure Vessel Committee on Power Boilers, ASME Press, USA.

4. KESIMPULAN

Sebagai kesimpulan dari perancangan dasar tangki penyimpanan udara ini, dapat diringkaskan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan untuk konstruksi *body* tangki penyimpanan udara adalah SA-516 Grade 70.
2. *Body* tangki penyimpanan udara terdiri dari *shell* yang berbentuk silinder dan *head* yang berbentuk ellipsoidal dengan diameter bagian dalam *shell* 1500 mm, panjang *shell* 4000 mm, *tinggi head* 375 mm, *knuckle radius* 255 mm dan *spherical radius* 285 mm.
3. Ketebalan material *shell* adalah 10 mm dan ketebalan material *head* adalah 12 mm.
4. Tekanan membuka *relief valve* diatur pada maksimum 15,75 kg/cm² dan tekanan uji hidrostatis adalah 22,5 kg/cm².

Sebagai saran, maka direkomendasikan untuk menterjemahkan perancangan dasar ini menjadi *construction drawing* yang juga meliputi jenis dan spesifikasi lasan serta komponen-komponen pendukung lainnya seperti penumpu (*support*), lubang akses (*main hole*), bagian untuk mengangkatnya (*lifting lug*), *flange* dan nosel.

- Callister, William D. & Rethwisch, David G, (2014). *Material Science and Engineering*, United State of America, John Wiley & Sons, Inc., 9th Edition
- Moss, Dennis R. & Basic, Michael. (2013). *Pressure Vessel Design Manual, Fourth Edition*, USA.
- Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia, (2016). Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 37/2016 Tentang Bejana tekanan dan tangki timbun, Jakarta, Indonesia.