Pressure Vessel Mechanical Design Case study for 10 kg/Cm² Pressure and 179° C Temperature

Perancangan Mekanikal Pressure Vessel dengan Tekanan Rancang 10 Kg/Cm² Dan Temperatur Rancang 179° C

Sumanto¹, Yuni Pita Asmiran¹, Hendra Gunawan¹, Pedro Da Silva^{2*}, Acim Maulana¹

Abstract

Pressure vessel is a closed tube that holds pressure, both internal pressure and external pressure. This pressure vessel is designed to function as a reservoir for condensate or condensed water and convert it into steam or hot steam. This article discusses the design of a pressure vessel for a pressure of about 10 kg/cm² and a design temperature of 179°C. In the design of this pressure vessel, it includes determining the material to be used in the design, determining the allowable stress of each material used, determining the cylinder wall thickness, cylinder head or cover wall thickness, nozzle wall thickness, determining the maximum allowable working pressure limit. or maximum allowable working pressure and testing after the pressure vessel is finished, namely the hydrostatic test method. The design has been successfully carried out according to the provisions.

Keywords

pressure vessel, pressure vessel numerical design, material choosen

Abstrak

Bejana tekan atau *pressure vessel* adalah suatu tabung tertutup penampung tekanan, baik tekanan dari dalam maupun tekanan dari luar bejana. Bejana tekan yang ini dirancang berfungsi sebagai penampung condensate atau air kondensasi dan mengubahnya menjadi steam atau uap panas. Pada artikel ini dibahas perancangan pressure vessel untuk tekanan sekitar 10 kg/cm² dan suhu rancang 179°C. Dalam perancangan bejana tekan ini meliputi pemilihan material yang akan digunakan dalam perancangan, menentukan tegangan yang diijinkan atau *allowable stress* dari setiap material yang digunakan, menentukan tebal dinding silinder, tebal dinding *head* atau penutup silinder, tebal dinding *nozzle*, menentukan batas tekanan kerja maksimum yang diijinkan atau *maximum allowable working pressure* dan pengujian setelah bejana tekan jadi yaitu dengan metode *hydrostatic test*. Dalam artikel ini perancangan secara numeris telah berhasil dilakukan dengan baik sesuai ketentuan.

Kata Kunci

bejana tekan, perancangan numeris bejana tekan, penentuan material

¹ Sekolah Tinggi Teknik Karawang

Jl. Lingkar Tanjungpura. Desa Kondangjaya, Kec. Karawang Timur, Kabupaten Karawang, Jawa Barat, Indonesia

² Institut Teknologi Budi Utomo

Jl. Raya Mawar Merah No. 23, Pondok Kopi, Perumnas Klender, Jakarta Timur, DKI Jakarta, Indonesia

*email : pedrodpp89@gmail.com

Submitted : July 10, 2021. Accepted : August 10, 2021. Published : August 14, 2021.

PENDAHULUAN

Suatu peralatan bejana tekan pada industri kimia perlu dirancang yang berfungsi sebagai penampung condensate atau air kondensasi dan mengubahnya menjadi steam atau uap panas. Bejana tekan ini perlu diciptakan dengan alasan nilai ekonomis, yaitu untuk menghemat biaya operasional dengan cara mengolah kembali air kondensasi sisa hasil produksi untuk dijadikan uap. Penelitian mengenai bejana tekan ini telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya[1]-[4]. Maksud dan tujuan dari perancangan *pressure vessel* atau bejana tekan ini adalah untuk menciptakan bejana tekan sesuai standar internasional yaitu berdasarkan *ASME Section VIII division 1*[5].

Bejana tekan ini berfungsi sebagai penampung condensate atau air kondensasi dan mengubahnya menjadi steam atau uap panas. Bejana tekan ini perlu diciptakan dengan alasan nilai ekonomis, yaitu untuk menghemat biaya operasional dengan cara mengolah kembali air kondensasi sisa hasil produksi untuk dijadikan uap.

Bejana tekan adalah suatu tabung tertutup penampung tekanan, baik tekanan dari dalam maupun tekanan dari luar bejana. Suatu tangki silinder berisi gas atau fluida dengan tekanan p N/m² mengalami gaya tarik yang menahan gaya pecah yang terjadi sepanjang penampang longitudinal dan melintang. Sehingga tegangan yang terjadi pada silinder adalah tegangan longitudinal atau *longitudinal stress* dan tegangan tangensial atau *tangential stress* seperti yang terlihat pada gambar 1.

Dasar perancangan untuk menentukan tebal dinding shell atau t adalah sebagai berikut :

$$\sigma_t = ((P \times R_i) + (P \times 0,5t)) / t$$

$$t = (P \times R_i) / (\sigma_t - 0,5 P)$$

Dimana :

σ_t = tegangan tangensial, [psi]

P = tekanan dalam silinder, [psi]

R_i = radius dalam sebelum ditambahkan kelonggaran korosi, [inci]

t = tebal dinding silinder, [inci]

Kemudian untuk menyempurnakan persamaan diatas, dalam buku *pressure vessel design handbook* [6] dijelaskan tentang *cylindrical shell* atau tabung berbentuk silinder menyatakan, untuk lebih akurat agar menggunakan $0,6P$ sebagai pengganti $0,5P$. Selanjutnya nilai dari tegangan tangensial (σ_t) adalah sama dengan *allowable stress* atau tegangan maksimum yang diijinkan dikalikan dengan *joint efficiency* atau efisiensi sambungan sehingga tebal dinding silinder, t adalah :

$$t = (P \times R_i) / ((S \times E) - 0,6 P)$$

Dimana :

S = tegangan yang diijinkan pada material, [psi]

E = efisiensi sambungan

Lalu batas tekanan kerja maksimum atau *maximum allowable working pressure* dengan menggunakan radius dalam sebagai dasar perhitungan adalah :

$$P = (S \times E \times t) / R_i + (0,6 \times t)$$

Gambar 1 (a.) Tegangan dalam *cylindrical shell* yang mendapat tekanan dalam atau *internal pressure*.
(b.) Evaluasi langsung gaya pecah (c.) Gaya pecah pada penampang transversal.

METODE PENELITIAN

Klarifikasi tugas perancangan

Tugas perancangan dalam perancangan bejana tekan akan diklarifikasikan dengan jelas untuk mengetahui batasan-batasan perancangan yang akan dilakukan. Klarifikasi tugas perancangan ini mencakup :

1. Menentukan material yang akan digunakan dalam perancangan.
2. Menentukan tegangan yang diijinkan atau *allowable stres* dari setiap material yang digunakan.
3. Menentukan tebal dinding silinder, *head* atau penutup silinder, *nozzle* dan *reinforcement pad* atau pelat penguat.
4. Menentukan tekanan kerja boleh maksimum yang diijinkan atau *maximum allowable working pressure*.

Flowchart perancangan digambarkan pada gambar 2.

Gambar 2. Flowchart perancangan

Perancangan konseptual

Bejana tekan yang akan dirancang ini adalah berfungsi sebagai penampung *condensate* atau air kondensasi dan mengubahnya menjadi *steam* atau uap panas. Bejana tekan ini perlu diciptakan dengan alasan nilai ekonomis, yaitu untuk menghemat biaya operasional dengan cara mengolah kembali air kondensasi sisa hasil produksi untuk dijadikan uap. Air kondensasi yang masuk kedalam bejana ini mempunyai tekanan sekitar $10 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$ dikondensasikan didalam bejana sehingga air kondensasi dan uap yang masih mengandung uap air akan turun kebawah. Sedangkan uap kering akan naik ke permukaan bagian atas. Uap yang dihasilkan dari pengolahan ini masih mempunyai tekanan sekitar $3 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$. Rancangan gambar bejana tekan dan dimensinya dijabarkan pada gambar 3.

Dalam perancangan bejana tekan ini diperlukan data-data yang selengkap mungkin guna mendapatkan rancangan yang optimal. Data-data ini bisa didapat dari design proses maupun dari *code* yang mensyaratkan. Data-data dari bejana tekan ini adalah sebagai berikut:

1. Tekanan rancang : $10 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$
2. Temperature rancang : 180°C
3. Diameter dalam : 1508 mm

Deskripsi	Melalui Nozzle	Ukuran Nozzle (inchi)
Steam inlet	N7 : N8	6
Steam outlet	N1	6
Safety valve	N9	4
Level	N5 : N6	2
Drain	N2	2

Gambar 3. Bejana tekan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan shell silinder

Data-data yang mendukung dalam perancangan silinder terdapat dalam tabel 1

Tabel 1. Detail data pendukung dalam perancangan

No	Item	Spesifikasi
1	Diameter dalam silinder	1508 mm
2	Radius dalam silinder	29,685 inch
3	Tekanan yang direncanakan	10 kg/cm ² (g)
4	Temperatur yang direncanakan	179 °C
5	Joint efficiency efisiensi sambungan (E)	1.0

Material yang akan digunakan untuk membuat silinder adalah dari jenis baja karbon dengan spesifikasi SA 516-70. *Allowable stress* atau tegangan yang diijinkan (S_v) untuk material SA 516-70 pada temperatur 354 °F adalah 20 000 psi. Material SA 516-70 dengan fluida uap panas yang akan mengalir didalamnya mempunyai laju korosi 0,003 inci pertahun. Bila bejana tekan ini dirancang untuk jangka waktu 20 tahun maka kelonggaran korosi (C) adalah 0,06 inci.

Sehingga tebal dinding silinder yang dibutuhkan sesuai dengan persamaan t sebelumnya adalah :

$$t = \frac{P \times R_i}{S \times E - 0.6P} + C$$

$$t = \frac{142,23 \times 29,685}{20,000 \times 1} + 0.06$$

$$t = 0,272 \text{ inch} = 7 \text{ mm}$$

Jadi tebal minimum silinder adalah 7 mm. Dalam pelaksanaan proses fabrikasi terjadi pengurangan ketebalan akibat pembentukan misal pengerolan dan penggerindaan, sehingga material yang akan digunakan untuk membuat silinder harus lebih tebal disesuaikan dengan pelat yang ada dipasaran. Maka material sebelum pembentukan adalah menggunakan pelat dengan ketebalan 8 mm.

Perancangan ellipsoidal head atau penutup silinder

Data-data yang mendukung dalam perancangan penutup silinder :

1. Tipe penutup silinder = ellipsoidal head 2:1
2. Diameter dalam = 1508 mm = 59,37 inci Radius dalam silinder = $59,37/2 = 29,685$ inci
3. Tekanan yang direncanakan = $10 \text{ kg/cm}^2(\text{g}) = 142,23 \text{ psi}$
4. Temperatur yang direncanakan = $179^\circ\text{C}/354^\circ\text{F}$
5. *Joint efficiency* atau efisiensi sambungan (E) = 1.0

Berdasarkan data-data diatas dan berdasarkan pada ASME section II part A [7] tentang ferrous material untuk pressure vessel code, material yang sesuai untuk membuat penutup silinder adalah dari jenis baja karbon dengan spesifikasi SA 516-70. Dengan fluida air atau uap panas yang mengalir di dalamnya dengan temperatur 354°F mempunyai laju korosi $0,076 \text{ mm/tahun}$ atau $0,003$ inci pertahun. Bila bejana tekan ini dirancang untuk jangka waktu 20 tahun, maka kelonggaran korosi (C) adalah $0,06$ inci.

Berdasarkan ASME section II part D [8] mengenai mechanical propsties of material bahwa material SA 516-70 pada temperatur 354°F mempunyai *allowable stress* atau tegangan yang diijinkan sebesar $20\,000 \text{ psi}$.

Penutup pada ujung bejana dirancang dibuat dari material yang utuh artinya pada penutup tidak terdapat sambungan. Maka efisiensi sambungan (E) yang digunakan 1,0.

Penutup pada ujung bejana dirancang dari tipe ellipsoidal dengan perbandingan 2:1. Bila diameter penutup silinder $59,37$ inci maka tinggi penutup (h) adalah $14,84$ inci.

Sehingga tebal dinding *head* atau penutup silinder (tr) sesuai dengan ASME Sect. VIII div. 1 UG-32 [5] adalah:

$$\begin{aligned} \text{tr} &= [(PDK) / (2 SE - 0,2P)] + C \\ \text{Untuk : } K &= 1/6 (2 + (D/2h)^2) \\ &= 1/6 (2 + (59,37 / 2 \times 14,84)^2) \\ &= 1 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Tr} &= [(142,23 \times 59,37 \times 1) / \\ &\quad (2 \times 20\,000 \times 1 - 0,2 \times 142,23)] + 0,06 \\ &= 0,271 \text{ inci} \\ &= 7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi minimum tebal dinding *head* atau penutup bejana tekan setelah pembentukan adalah 7 mm . Dalam pelaksanaan proses fabrikasi terjadi pengurangan ketebalan akibat pembentukan dan pengerolan terutama pada daerah knukel radius yaitu pada potongan A-A pada gambar 2. Dengan alasan tersebut maka perlu adanya penambahan ketebalan untuk kelonggaran pembentukan atau *forming allowance* (fa) sebesar 3 mm . Sehingga ketebalan material sebelum pembentukan adalah :

$$\begin{aligned} t &= \text{tr} + \text{fa} \\ &= 7 + 3 (\text{mm}) \\ &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Material yang ada dipasaran adalah dengan ketebalan 10 mm . Maka tebal penutup silinder sebelum pembentukan adalah menggunakan material dengan tebal 10 mm .

Perancangan nozzle "C"

Data-data yang mendukung dalam perancangan nozzle "C" :

1. Diameter dalam silinder = $1508 \text{ mm} = 59,37$ inci Radius dalam silinder = $59,37/2 = 29,685$ inci
2. Nominal diameter nozzle "C" = 6 inci
3. Diameter luar nozzle = $168,3 \text{ mm} = 6,625$ inci Radius luar nozzle (Ron) = $6,625 / 2 = 3,313$
4. Tekanan yang direncanakan (P) = $10 \text{ kg/cm}^2(\text{g}) = 142,23 \text{ psi}$

5. Temperature yang direncanakan = 179 °C/ 354 °F

6. *Joint efficiency* atau efisiensi sambungan (E) = 1.0

Dalam penyambungan nozzle C terhadap silinder dirancang masuk kedalam silinder. Dalam perancangan nozzle, perlu diperhatikan pula kekuatan silinder sebagai perbandingan. Material yang digunakan untuk membuat silinder adalah dengan spesifikasi SA 516-70 dengan tegangan yang diijinkan (Sv) 20 000 psi.

Material yang digunakan untuk nozzle C adalah dari jenis baja karbon dengan spesifikasi SA 106-B. Tegangan yang diijinkan (Sn) untuk material SA 106-B pada temperatur 354 °F adalah 17 100 psi.

Tebal dinding nozzle tidak boleh kurang dari nilai yang terbesar dari ketentuan poin 1 dan 2 berikut:

1) Tebal dinding nozzle (tr1) sesuai UG-45 (a) (1)

$$\begin{aligned} tr1 &= (P \times R_{on}) / (S_n \times E + 0,4 \times P) \\ &= (142,23 \times 5,375) / (17\,100 \times 1 - 0,4 \times 142,23) \\ &= 0,045 \text{ inci} \end{aligned}$$

2) Tebal dinding nozzle sesuai UG-45 (a) (2) Tebal dinding nozzle adalah nilai yang terkecil dari ketentuan poin a dan b berikut :

a. Untuk bejana tekan yang hanya mengalami tekanan dalam, tebal yang disyaratkan (ditambah kelonggaran korosi) sesuai tebal silinder atau head pada lokasi nozzle itu dipasang, tetapi tidak boleh kurang dari tebal minimum yang disyaratkan pada UG-16, diasumsikan E=1,0.

• Tebal dinding nozzle (tr2) sesuai UG-45 (a) (2) (a) adalah :

$$\begin{aligned} tr2 &= (P \times R_{is}) / (S_s \times E - 0,6 \times P) + C \\ &= (142,23 \times 29,685) / (20\,000 \times 1 - 0,6 \times 142,23) + 0,06 \\ &= 0,272 \text{ inci} \end{aligned}$$

• Tebal dinding nozzle (tr3) sesuai ASME Section VIII division 1, UG-16. Tebal minimum yang diijinkan untuk silinder dan penutup silinder sesudah pembentukan tidak boleh kurang dari 1/16 inci belum termasuk kelonggaran korosi.

$$\begin{aligned} tr1 &= 1/16 + C \\ &= 0,0625 + 0,06 \\ &= 0,1225 \text{ inci} \end{aligned}$$

• Tebal dinding nozzle (tr3) yang disyaratkan adalah nilai yang terbesar dari (tr2) atau (tr3). Dari kedua nilai tersebut (tr2) yang terbesar yaitu dengan ketebalan 0,272 inci.

b. Tebal dinding nozzle (tr4) sesuai ASME Section VIII division 1, UG-45 (a) (2) (d) [5]. Minimum tebal nozzle adalah berdasarkan tebal dinding pipa standar. Berdasarkan tabel 4.1 bahwa pipa yang berdiameter nominal 6 inci sch standar mempunyai ketebalan 7 mm atau 0,276 inci. Sehingga tr4 adalah 0,276 inci. Tebal dinding nozzle yang disyaratkan oleh UG-45 (a) (2) adalah nilai yang terkecil dari poin a dan b diatas. Dari kedua nilai tersebut poin a atau tr2 adalah yang terkecil dengan ketebalan 0,272 inci. Minimum tebal dinding nozzle yang disyaratkan pada UG-45 adalah tidak boleh kurang dari nilai yang terbesar dari ketentuan poin 1 dan 2. Dari kedua nilai tersebut pada ketentuan 2 adalah yang terbesar yaitu dengan nilai 0,272 inci atau 6,90 mm. Jadi minimum tebal dinding nozzle adalah 6,90 mm. Berdasarkan tabel ketebalan pipa bahwa nozzle C yang sesuai adalah dengan diameter 6" sch 40 yaitu dengan ketebalan 7 mm.

Hydrostatic test atau uji hidrostatik

Uji hidrostatis yang dimaksud dalam proyek akhir ini adalah suatu metode pengujian yang berguna untuk mendeteksi kebocoran pada bejana tekan baik kebocoran pada material maupun pada lasan. Selain itu uji hidrostatis juga berfungsi untuk menguji disain kalkulasi, untuk meyakinkan bahwa rancangan yang dibuat tidak terdapat kesalahan.

Besarnya uji hidrostatis atau H_t sesuai yang disyaratkan pada ASME Section VIII [5] division 1 UG-99 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_t &= 1,3 \times \text{tekanan disain.} \\ &= 1,3 \times 142,23 \text{ psi} \\ &= 185 \text{ psi atau } 13 \text{ Kg / cm}^2 \text{ (g).} \end{aligned}$$

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Bejana tekan ini telah berhasil dirancang sesuai yang disyaratkan oleh American Society of Mechanical Engineers. Untuk membuktikan bahwa bejana tekan yang dirancang ini mampu menahan tekanan sesuai yang direncanakan, maka perlu dilakukan pengujian *hydrostatic test* yang besarnya 1,3 kali tekanan yang direncanakan.

Setelah dilakukan perancangan yang spesifik dan teliti yang melibatkan data-data dari kode yang mensyaratkan, maka spesifikasi dari bejana tekan ini adalah sebagai berikut: Tebal dinding shell adalah 0,315 inchi atau 8 mm; Tebal dinding shell adalah 0,315 inchi atau 8 mm; Tebal dinding nozzle adalah 7 mm, menggunakan pipa 6 inchi sch 40; *Hydrostatic test* pada bejana tekan ini adalah dengan 185 psi atau 13 kg/cm².

Saran

Perancangan bejana tekan yang dilakukan ini adalah dengan metode manual mengacu pada ASME Section VIII Division 1, disarankan juga untuk menggunakan software seperti Comp Press, PV elite dan ANSYS untuk mengetahui detail tegangan yang terjadi pada bejana tekan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Aziz, Abdul, Abdul Hamid, and Imam Hidayat. "Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) Untuk Separasi 3 Fasa." *Sinergi* 18.1 (2014): 31-38.
- [2] Satrijo, Djoeli, and Syarief Afif Habsya. "PERANCANGAN DAN ANALISATEGANGAN PADA BEJANA TEKAN HORIZONTAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA." *ROTASI* 14.3 (2012): 32-40.
- [3] Siswanto, Budi. "Analisa Pengujian Ketahanan Bejana Tekan Dengan Metode Hidrostatictest." *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan* 10.1 (2021): 37-44.
- [4] Danuarta, Dewa Bian. *RANCANG BANGUN ALAT PERCOBAAN BEJANA TEKAN BERBASIS AKUISISI DATA*. Diss. Universitas Muhammadiyah Malang, 2020.
- [5] ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, "Section VIII Division 1 – Rules for Construction of Pressure Vessel" The ASME, New York, 1992.
- [6] Buthod, Paul and Megysey, Eugene F, "Pressure Vessel Handbook", Pressure Vessel Publishing Inc, Tulsa, 1981.
- [7] ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, "Section II Part A – Ferrous Material Specification" The ASME, New York, 1992.
- [8] ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, "Section II Part D – Mechanical Properties of Material" The ASME, New York, 1992.