

Perancangan Horizontal Pressure Vessel Tipe Preheater Dan Sistem Perpipaan Pada Proyek Blawan Ijen Geothermal Unit #1

Arif Wahyudi¹, Moh. Miftachul Munir², Budi Prasoso²

Program Studi D4-Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D4-Teknik Bangunan Kapal, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program Studi D4-Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: arifwahyudi12@student.ppns.ac.id^{1*}; m.munir@ppns.ac.id^{2*}; budiprasoso@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The Blawan Ijen Unit 1 Geothermal Power Plant (PLTP) project in Bondowoso Regency, East Java, utilizes geothermal energy potential as a sustainable renewable energy source. One of its vital components is a preheater, a horizontal pressure vessel that functions as a heat exchanger to increase the temperature of the cyclopentane working fluid before the energy conversion process takes place. With a capacity of 21,000 liters, a design pressure of 3.2 MPa, and a design temperature of 210°C, this preheater is designed in accordance with international standards ASME Section VIII Division 1 using material SA-516 GR 70, with the assistance of PV Elite software for pressure vessel analysis and CAESAR II for piping stress analysis. Manual calculations were performed as validation of the software results. The minimum shell and head thicknesses were determined to be 16.529 mm each, with a Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) of 4.1 MPa and a Maximum Allowable Effective Pressure (MAEP) of 0.162 MPa (shell) and 1.556 MPa (head). The MAEP values meet the design limits without the use of stiffener rings. The saddle strength analysis yielded a stress of 173.33 MPa, below the material's allowable stress limit. Of the 8 nozzles designed, 6 required reinforcing pads, and all welded joints met the strength standards for operational loads. The stress analysis using the von Mises stress value of 27.579 MPa is considered safe as it remains below the material's allowable stress limit. The nozzle inlet load analysis shows a maximum pressure of -281 lb, lower than the maximum allowable limit of 4496 lb, while the outlet shows a value of 3843.5 lb/ft, which is lower than the maximum limit of 29503.7 lb/ft, ensuring the pipe-nozzle connection is safe with the addition of Thermal Movement on the Dy axis of 2.2 mm and Dz of 4.5 mm at the nozzle inlet, For the nozzle outlet axis, the addition is Dy 0.27 mm, Dz 3.22 mm. These results demonstrate that the designed preheater meets all technical and safety criteria and can serve as a reference for the development of pressure vessel equipment for geothermal power plants and renewable energy projects in Indonesia..

Keyword: Pressure Vessel, Preheater, Nozzle, PV Elite, CAESAR II, ASME.

Nomenclature

Nomenclature menyatakan simbol dan keterangan yang kita tampilkan dalam paper

MAWP Maximum allowable working pressure [MPa]

S Tegangan maksimum yang diijinkan material [MPa]

E Efisiensi sambungan las

t Tebal shell tanpa faktor korosi [mm]

D Diameter bejana tekan tanpa faktor korosi [mm]

P Internal Pressure [MPa]

I Importance faktor]

Q Shear [lb]

M Overtuning moment [lb.ft]

R Jari-jari bejana tekan [mm]

Ro outside radius of cylindrical attachment (mm)

T thickness of cylindrical shell (mm)

τ_x shear stress in the x face in the φ direction with respect to the shell (MPa)

τ_φ shear stress in the φ face in the x direction with respect to the shell (MPa)

W total of weight (kg)

S allowable stress (MPa)

E modulus elasticity (MPa)

I moment inertia (mm⁴)

Δ allowable deflection (mm)

P internal design pressure (MPa)

D outside diameter (mm)

Y Y coefficient

C corrosion allowance (mm)

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi panas bumi yang tinggi dengan lebih dari 250 lokasi tersebar di sepanjang jalur vulkanik. Proyek PLTP Blawan Ijen Unit #1 merupakan salah satu upaya pemanfaatan sumber energi panas bumi yang

dirancang dengan efisiensi dan keselamatan tinggi. Salah satu komponen vital dalam siklus ini adalah preheater, yaitu bejana tekan yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja sekunder.

PT. Weltes Energi Nusantara dipercaya untuk merancang dan membangun unit preheater beserta sistem perpipaan inlet dan outlet-nya. Dalam desain ini digunakan standar ASME Section VIII Div 1 untuk pressure vessel dan ASME B31.3 untuk perpipaan proses. Selain itu, dilakukan verifikasi dengan software PV Elite dan CAESAR II untuk memastikan keandalan struktur terhadap beban internal, eksternal, dan pembebanan sambungan.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan meliputi perhitungan manual dan pemodelan menggunakan software teknik. Langkah-langkah meliputi:

2.1 Studi Literatur dan Lapangan

Referensi dari standar ASME Section VIII Div. 1 dan B31.3, Pressure Vessel Handbook [3][4], serta data engineering perusahaan dijadikan dasar desain.

2.2 Data Desain

Tekanan desain: 3,2 MPa
Tekanan operasi: 40,57 MPa
Temperatur desain: 210 °C
Kapasitas vessel: 11.200 L
Material: SA-516 Gr.70

2.3 Perhitungan Manual

a. Ketebalan Minimum Shell dan Head:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

b. MAWP Shell dan Head:

$$P = \frac{2SEt}{kD - 0.2t}$$

c. Tekanan Eksternal (MAEP) menggunakan grafik faktor A dan B (UG-28 ASME) serta:

$$Pa = \frac{4B}{(Do^3/t^2)(2AE)}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Nozzle

Desain nozzle mengacu pada ASME Section VIII Div 1 dan Pressure Vessel Handbook (Megyesy, 2008). Nozzle berfungsi sebagai saluran masuk

dan keluar fluida, terpasang pada bagian shell maupun head. Dimensi nozzle ditentukan berdasarkan kebutuhan debit fluida dan tekanan desain.

Perhitungan awal menentukan apakah nozzle memerlukan *reinforcement pad*. Jika area material pada nozzle tidak cukup untuk menahan tekanan ($A1 < A$), maka penguat diperlukan.

Untuk diameter nozzle 4", digunakan material SA 106 Gr. B dengan allowable stress 138 MPa pada temperatur 210°C. Ketebalan *nozzle* didesain menggunakan persamaan dasar tekanan dalam silinder:

$$t = \frac{PD}{2SE + 0.4P}$$

Table 1 Hasil Perhitungan NA-16"

Hasil Perhitungan		Value	Unit
Thickness Req Nozzle	trn	6,182	mm
Weld Strength Red Fac 1	fr1	0,66	-
Weld Strength Red Fac 2	fr2	0,66	-
Weld Strength Red Fac 3	fr3	0,66	-
Weld Strength Red Fac 4	fr4	0,66	-
tn-CA	tn-cor	7,93	mm
t-CA	tc-or	17,4	mm
Area Req	A	5782,63	mm ²
Area Available Shell	A1	1576,83	mm ²
Area Available Nozzle	A2	159,54	mm ²
Area Available Inward Nozzle	A3	-	mm ²
Area Available Weld	A4	59,52	mm ²
Total Area Available	Σ(A1-A4)	3986,73	mm ²
Increase Area ReinPad	A5	3986,73	mm ²
Limit Parallel to Vessel	X	387,34	mm
Limit Parallel to Nozzle	Y	23,83	mm
Pad Material	-	SA-240 SS 304L	-
Allow Stress Pad	Sp	157	MPa

Diam Pad + Nozzle	Dp	616,23	mm
Thickness Pad	tp	19	mm
Width Pad	wp	209,828	mm

3.2 Strength of Attachment Nozzle

Analisis kekuatan sambungan nozzle memperhatikan kemungkinan terjadinya patahan akibat kombinasi gaya dan momen. Beban yang diperhitungkan meliputi:

- Radial load (P)
- Torsional moment (MT)
- Longitudinal moment (ML)
- Circumferential moment (MC)
- Longitudinal shear (VL)
- Circumferential shear (VC)

Pendekatan digunakan berdasarkan WRC-107. Kombinasi tegangan utama terdiri dari:

- Primary membrane stress (Pm)
- Local primary stress (PL)
- Secondary stress (Q)

Hasil Perhitungan		Value	Unit
Load to be Carried by Welds	(A - A1) Sv	660309,198	Kg
Load to be Carried by Nozzle Welds	(A2 + 2. tncor. tcor) Sn	44856,718	Kg
Reinforcing Pad Load	(dp - do) tp × Sn	410633,429	Kg
Fillet Weld Shear	Sf	76,93	MPa
Grove Weld Tension	Sg	116,18	MPa
Stress Value of Nozzle Wall Shear	Snw	72,1	MPa
Fillet Weld Shear, Outward Nozzle Weld	a	933088,656	Kg
Nozzle Wall Shear	b	186774,929	Kg
Groove Weld Tension, Shell Groove Weld	c	706431,299	Kg
Fillet Weld Shear, Element Pad Weld	d	1414850,817	Kg
Groove Weld Tension, Pad Groove Weld	e	706431,299	Kg
Path 1 - 1	b,d	1601625,746	Kg

Path 2 - 2	c,d	2121282,116	Kg
Path 3 - 3	a,c,e	2345951,254	Kg
Element Pad Weld	d	1414850,817	Kg

3.3 Berat Vessel

Perhitungan berat vessel meliputi:

- Berat kosong: dihitung dari volume shell, head, dan nozzle × densitas material
- Berat operasi: ditambah berat fluida kerja dan isolasi

Untuk shell silinder dengan panjang total 18.318 mm dan diameter 1447 mm, material SA-516 Gr.70 (densitas 7.850 kg/m³), didapatkan berat kosong ± 3.500 kg. Berat operasi total ± 10.000 kg setelah memperhitungkan isi fluida dan peralatan tambahan. Nilai berat ini digunakan sebagai dasar analisis saddle support. Saddle dirancang berdasarkan gaya vertikal total dan distribusi momen, serta mempertimbangkan wind load dan seismic load.

Hasil Perhitungan		Value		Unit
		Formulasi	Handbook	
Weight Shell	Ws	12562,4201	-	kg
Weight Head	Wh	678,734813	-	kg
Weight Vessel	Wpv	40111,155	-	kg
Vol Water at Shell	Vs	1737175,074	-	mm ³
Vol Water at Head	Vh	86463033,4	-	mm ³
Weight Water	Wf	30874,446	-	kg
Weight Attachment	Wa	1951,869		kg
Total Weight	W	72937,47018		kg
W + 6%W	Wtot	77313,71839		kg

4. KESIMPULAN

- Ketebalan minimum shell hasil perhitungan adalah 14,9 mm, digunakan 19 mm untuk mempertimbangkan corrosion allowance.
- MAWP = 4,1 MPa > Pd = 3,2 MPa, desain aman.
- MAEP = 0,1621 MPa > 0,103 MPa, tidak perlu stiffener.
- Desain dan kekuatan nozzle dinyatakan aman terhadap beban dan sambungan.
- Berat total vessel dalam kondisi operasi sekitar 70 ton, cukup kuat ditopang oleh saddle support dengan perhitungan yang sesuai.

Dengan demikian, preheater dan sistem perpipaan pada proyek Blawan Ijen dapat dioperasikan secara aman dan andal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyuningsih, E. (2005). *Potensi Energi Panas Bumi Indonesia*.
- [2] Sandeep Gond et al. (2004). *Design and Analysis of Pressure Vessels with Multilayer*.
- [3] ASME Section VIII Division 1 (2019). *Rules for Construction of Pressure Vessels*.
- [4] Megyesy, E.F. (2008). *Pressure Vessel Handbook*, 12th ed.
- [5] ASME B31.3 (2022). *Process Piping*.
- [6] Andrade, D. (2015). *Local Stress Analysis Using WRC 107 Method*.
- [7] PV Elite. (2015). *Quick Start Guide*. Intergraph.
- [8] CAESAR II. (2014). *User Guide*. Hexagon.