

Perhitungan Daya Pemanas dan Tekanan pada Desain *Water Heating Tank* Untai FASSIP-02

Joko Prasetio Witoko, Dedy Haryanto, Mukhsinun Hadi Kusuma, Mulya Juarsa
Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir-BATAN
jokopn@batan.go.id

Abstrak—Untai FASSIP-02 terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *water cooling tank*, *water heating tank*, *piping* dan tangki ekspansi. FASSIP-02 adalah hasil pengembangan dari FASSIP-01 yang sudah dimiliki terlebih dahulu, FASSIP-01 mempunyai ukuran lebih kecil dibandingkan dengan FASSIP-02 dari segi volume karena volume air pada *water heater tank* maupun *water cooling tank* lebih besar, dengan ukuran kolam 3000 x 1000 x 2750 mm. Salah satu aspek yang harus diperhitungkan adalah pembuangan panas sisa hasil peluruhan yang tetap dihasilkan oleh reaktor ketika mengalami kecelakaan. Desain dari komponen-komponen utama tersebut harus dianalisis kemampuannya sebelum dilakukan konstruksi. Studi ini difokuskan pada desain *water heating tank* sebagai bagian penting dari untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP-02). Tujuan studi ini adalah menghitung kebutuhan pemanas yang akan dipasang dan kekuatan tekanan tangki pada desain *water heating tank* yang akan dikonstruksi. Metode yang dilakukan adalah menggunakan perhitungan manual untuk menentukan kebutuhan pemanas dan kekuatan tekanan tangki *Water Heater Tank* terhadap tekanan operasi yang direncanakan. *Water heating tank* didesain memiliki diameter luar 610 mm, tinggi 1000 mm, dan ketebalan tangki sebesar 6 mm. Hasil perhitungan yang didapatkan untuk volume *water heating tank* sebesar 292 liter dan untuk massa air sebesar 292 kg sedangkan untuk daya pemanas yang dibutuhkan sebesar 16,98 kW dengan lama pemanasan pada *water heating tank* 5400 detik, bahwa *water heating tank* membutuhkan sebanyak 4 buah pemanas dengan masing-masing daya sebesar 5000 W. Hasil rancangan lainnya menunjukkan bahwa *water heating tank* ini mampu untuk dioperasikan pada tekanan 10 bar. Dengan demikian desain *water heating tank* ini dapat digunakan sebagai dasar untuk konstruksi yang akan dilakukan.

Kata kunci : tanki air pemanas, pemanas, untai FASSIP-02

Abstract—The FASSIP-02 strand consists of several main components: *water cooling tanks*, *water heating tanks*, *piping* and *expansion tanks*. FASSIP-02 is a result of the development of FASSIP-01 which is already owned first, FASSIP-01 has smaller size compared to FASSIP-02 in terms of volume because *water volume* in *water heater tank* and *water cooling tank* is bigger, with pool size 3000 x 1000 x 2750 mm. One aspect to be taken into consideration is the residual heat dissipation of the decay results that remains generated by the reactor when it is in an accident. The design of the main components must be analyzed before construction. This study focuses on the design of *water heating tanks* as an important part of the Passive Simulation System (FASSIP-02) loop. The purpose of this study is to calculate the need of heater to be installed and the pressure strength of the tank on *water heating tank* design to be constructed. The method used is to use manual calculations to generate heater requirements and tank

pressure of Water Heater Tank on planned operating pressure. Water heating tanks are designed to have an outside diameter of 610 mm, a height of 1000 mm, and a tank thickness of 6 mm. The calculation result obtained for water heating tank volume is 292 liters and for water mass of 292 kg while for heating power required is 16,98 kW with heating time at water heating tank 5400 second, that water heating tank need 4 heater with each power of 5000 W. Other design results show that the water heating tank is capable to operate at 10 bar pressure. Thus the design of this water heating tank can be used as the basis for the construction to be carried out.

Keywords: *water heater tank, heater, FASSIP-02 loop*

PENDAHULUAN

Kecelakaan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) Fukushima Dai-ichi menjadi momen penting untuk semakin meningkatkan keselamatan sistem reaktor di dunia. Salah satu aspek yang harus diperhitungkan adalah pembuangan panas sisa hasil peluruhan yang tetap dihasilkan oleh reaktor ketika mengalami kecelakaan, khususnya ketika mengalami *station blackout* (SBO).

FASSIP-01 merupakan sebuah alat uji eksperimen yang dikhususkan untuk aliran satu-fasa dengan variabel parameter daya heater dan laju aliran pendingin di cooler [1].

Untai FASSIP-01 adalah fasilitas simulasi sistem pasif yang digunakan untuk menginvestigasi fenomena sirkulasi alami guna penguasaan kemampuan desain reaktor dengan sistem keselamatan pasif [2].

Untuk menganalisis kebutuhan daya suatu komponen perlu diketahui kapasitas optimal tangki dan neraca massa pada setiap komponen tangki [3].

Tabung ini berfungsi sebagai tabung induk pemanas untuk memanaskan pipa utama FASSIP – 01 yang melintas di dalamnya untuk kemudian terkena efek buoyancy dan bergerak mengikuti untaian [4].

Salah satu cara mengetahui karakteristik perpindahan panas dalam suatu sistem adalah dengan metode Finite Element Method (FEM) yang merupakan langkah menyelesaikan suatu problem dengan cara mem-bagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga [5].

Penggunaan sistem pasif mulai diperhitungkan untuk mengatasi masalah pembuangan panas sisa ketika sistem aktif mengalami kegagalan. Walaupun memiliki efektivitas pendinginan yang lebih lambat daripada pendinginan dengan sistem aktif, namun pendinginan dengan sistem pasif dapat digunakan untuk membantu

pembuangan panas sisa yang terus dihasilkan oleh bahan bakar reaktor [6-8]

Studi sistem pasif mulai banyak dipelajari oleh peneliti di dunia nuklir. Sistem pasif adalah suatu sistem aliran yang tidak menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Sistem ini memanfaatkan sirkulasi alamiah karena adanya beda densitas antara fluida dingin dan panas yang ada di dalam sistem pasif tersebut. Salah satu contohnya adalah *thermosiphon* sebagai alat penukar kalor yang memiliki kemampuan memindahkan kalor dari suatu sumber kalor yang bertemperatur tinggi ke temperatur lebih rendah [9].

Dalam rangka pengembangan studi sistem pendingin pasif, maka saat ini akan dilakukan pembuatan konstruksi untai FASSIP-02. Diharapkan dengan dibangunnya untai uji yang baru, akan diperoleh studi yang lebih detail mengenai fenomena perpindahan panas secara alamiah di sistem reaktor ketika mengalami SBO [10].

Sistem keselamatan pasif atau FASSIP-02 terdiri dari dua sistem yaitu sistem pemanas dan sistem pendingin. Rectangular untai merupakan untai primer dengan komponen utama *water cooling tank* (WCT), *piping*, *water heating tank* (WHT), tangki ekspansi dan pemipaan dimana sirkulasi alami fluida terjadi akibat adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi. Sedangkan yang diharapkan sistem pemanas dapat berfungsi dengan efektif

dan menghasilkan pemanasan sesuai dengan kebutuhan studi yang akan dilakukan.

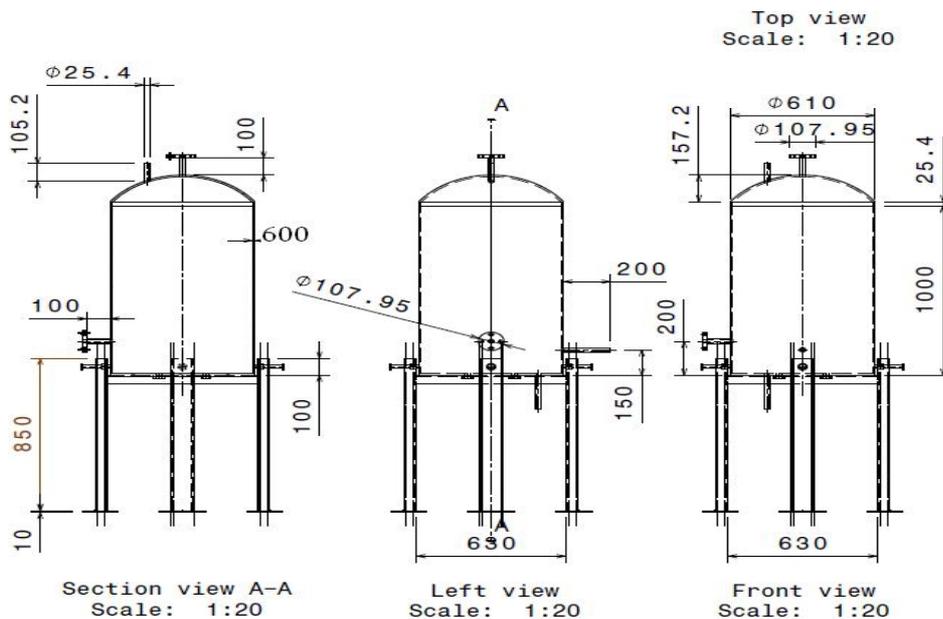
Tujuan studi ini adalah menghitung kebutuhan pemanas yang akan dipasang dan kekuatan tekanan tangki pada desain *water heating tank* yang akan dikonstruksi. WHT mempunyai ukuran tinggi 1000 mm dengan diameter 610 mm dengan posisi vertikal dengan bahan stainless steel 304 dengan tebal 6 mm, sedangkan WHT berfungsi untuk memanaskan sistem aliran pada untai FASSIP-02. Metode yang dilakukan adalah dengan menghitung berapa kapasitas pemanas yang akan dipasang dan kekuatan tangki terhadap tekanan operasi yang akan dijalankan. Kegiatan yang dilakukan adalah merancang WHT untuk dijadikan dasar sebelum dilakukan konstruksi dengan cara menghitung kebutuhan daya dan kekuatan WHT terhadap termal.

WHT dilengkapi dengan sistem dudukan untuk memudahkan pengecekan.

WHT dilengkapi juga dengan sistem instrumentasi untuk pengukuran tekanan dan sensor temperatur secara online menggunakan akuisisi data, WHT ini akan dioperasikan hingga tekanan 10 bar.

METODE

WHT yang dirancang dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Water Heating Tank* [courtesy of Dedy Haryanto]

Dalam studi ini dilakukan perhitungan pada desain WHT dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan volume air di WHT.
2. Menghitung besarnya daya pemanas WHT.
3. Menentukan batas tekanan operasi.

Untuk menghitung volume air pada tangki WHT digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = \pi \times r^2 \times h \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :

V = volume air (e)

r = jari-jari tabung (m)

h = tinggi tabung (m)

Untuk menghitung massa air digunakan persamaan sebagai berikut :

$$m = \rho \cdot V \dots \dots \dots (2)$$

Dengan :

m = massa

ρ = massa jenis (kg/m³)

V = volume (l)

Sedangkan untuk menghitung besarnya daya pemanas yang akan di pasang di WHT dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$Q = m \cdot C_p \frac{dT}{dt} \dots \dots \dots (3)$$

Q = daya pemanas (Watt)

m = massa air (kg)

C_p = kapasitas panas air = 4187 J/kg.K

dT = T_{saturasi air} – T_{tangki air} (K)

dt = waktu pemanasan air (s)

HASIL

WHT yang akan dikonstruksi memiliki diameter 610 mm, tinggi 1000 dan tebal 6 mm. Dari perhitungan diperoleh volume air WHT sebesar :

$$V = 3,14 \times (0,305)^2 \times 1$$

$$= 0,292 \text{ m}^3 = 292 \text{ l.}$$

Dengan ρ air sebesar 1000 kg/m³ demikian maka massa airnya adalah sebesar :

$$m = 1000 \times 0.292$$

$$= 292 \text{ kg}$$

Dalam perhitungan kebutuhan panas pada WHT, diasumsikan bahwa temperatur awal air didalam WHT 25 °C (298 k) panasnya divariasikan dari 50°C (323 k) hingga 100 °C (373 k), selama 1,5 jam (5400 detik). Hasilnya adalah :

$$Q = m \cdot C_p \frac{dT}{dt}$$

$$= 292 \times 4187 \times \frac{(373 - 298)}{5400}$$

$$= 16.980 \text{ watt} = 16,98 \text{ kW}$$

Hasil perhitungan yang dilakukan pada variasi daya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan daya pemanas terhadap temperatur.

No	Daya (kW)	T _{saturasi yang dihasilkan} (°C)
1	5,66	50
2	7,92	60
3	10,19	70
4	12,45	80
5	14,72	90
6	16,98	100

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa variasi daya yang diberikan akan menghasilkan temperatur saturasi yang

berbeda. Terlihat bahwa peningkatan daya yang diberikan pada WHT akan menghasilkan peningkatan temperatur saturasi.

Tabel ini diperlukan untuk menentukan tekanan operasi yang diijinkan pada WHT dilakukan dengan cara mengacu pada tabel standar yang diberikan pada referensi [11].

Pada tabel 2 dapat dilihat *pressure rating* untuk pipa *Stainless Steel*.

Tabel 2. *Pressure Rating* untuk pipa *Stainless Steel*.



STAINLESS STEEL GRADE TP304L PIPES - ASTM A 312, Seamless

ALLOWABLE WORKING PRESSURE AT TEMPERATURE																		
temperature (°C)	50	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450						
Design Strength (MPa)	115	115	109	103	98	96	94	93	92	90	88	84						
Size	Allowable Working Pressure (MPa)																	
DN	NPS	mm	Sch	WT														
			No	(mm)														
600	24	609.60	5S	5.54	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
		609.60	10S	6.35	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
		609.60	40S	9.83	3.2	3.2	3.2	3.0	2.9	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.4	2.3	2.0	1.7
		609.60	80S	12.70	4.3	4.3	4.3	4.0	3.8	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.3	3.1	2.7	2.2

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa untuk pipa SS304 dengan sch 20S, diameter 610 mm tebal 6 mm dan temperatur divariasikan dari 50 °C sampai dengan 100 °C, maka didapatkan tekanan operasi yang diijinkan sebesar 21 bar.

Dengan demikian tabung WHT yang di desain untuk dioperasikan sebesar 10 bar, akan aman dioperasikan dalam kegiatan eksperimen di FASSIP-02.

SIMPULAN

Hasil perhitungan desain WHT pada FASSIP-02 didapatkan bahwa daya yang dihasilkan adalah sebesar 16,98 kW. Sedangkan kemampuan WHT terhadap tekanan adalah sebesar 21 bar. Jadi dengan dioperasikan pada tekanan 10 bar, maka WHT akan aman dioperasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas pendanaan melalui program INSINAS 2017 Kementerian Ristekdikti dengan Nomor Kontrak : 02/INS-2/PPK/E/E4/2017. Mengucapkan terima kasih kepada PTKRN atas tersedianya fasilitas di laboratorium termohidrolika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Noufal, G. Giarno, J. Prasetio, D. Haryanto, and M. Juarsa, "ANALISIS UNJUK KERJA PEMANAS DAN PENDINGIN DI UNTAI FASILITAS SIMULASI SISTEM PASIF," SIGMA EPSILON-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir, vol. 19, 2016.
- [2] M. Noufal, I. G. B. W. Kusuma, and I. N. Suarnadwipa, "Analisa Perpindahan Panas Pada Heater Tank FASSIP-01," Jurnal METTEK, vol. 3, pp. 1-10, 2017.
- [3] B. Hasan and S. Tomy, "Analisis Kebutuhan Daya pada Pabrik Mini Biodiesel," ed: Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, 2007.
- [4] A. Tangkesalu, I. G. B. W. Kusuma, and I. N. Suarnadwipa, "Analisis Perpindahan Panas Pada Cooler Tank FASSIP-01," Jurnal METTEK, vol. 3, pp. 11-20, 2017.

- [5] E. Kurnia, G. Giarno, G. B. Heru, J. Prasetyo, and M. Juarsa, "KARAKTERISTIKA PERPINDAHAN PANAS TABUNG COOLER PADA FASILITAS SIMULASI SISTEM PASIF MENGGUNAKAN ANSYS," SIGMA EPSILON-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir, vol. 19, 2016.
- [6] S. H. Chang, S. H. Kim, and J. Y. Choi, "Design of integrated passive safety system (IPSS) for ultimate passive safety of nuclear power plants," Nuclear Engineering and Design, vol. 260, pp. 104-120, 2013.
- [7] M. Juarsa, "dtk. Studi eksperimental laju aliran massa air berdasarkan perubahan sudut kemiringan untai pada kasus sirkulasi alamiah menggunakan untai sirkulasi alamiah (USSA-FT01)," Jurnal Material dan Energi Indonesia, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Padjajaran, vol. 1, pp. 22-30, 2011.
- [8] Y. Wang, "Preliminary study for the passive containment cooling system analysis of the advanced PWR," Energy Procedia, vol. 39, pp. 240-247, 2013.
- [9] J. Cleveland, N. Aksan, P. Vijayan, A. Nayak, D. Saha, J. Reyes Jr, et al., "Natural circulation in water cooled nuclear power plants."
- [10] A. Abdullah and Z. Suâ, "ANALISIS KECELAKAAN REAKTOR AKIBAT KEGAGALAN SISTEM PEMBUANG PANAS PADA REAKTOR NUKLIR GENERASI IV," Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, vol. 8, 2012.
- [11] A. Steels, "Pressure Rating Tables for Stainless Steel Pipe," ed, 2016.