

ANALISIS PERPINDAHAN KALOR DI BAGIAN WATER-JACKET COOLER BERDASARKAN PERBANDINGAN DAYA HEATER PADA FASILITAS USSA-FTS01

Alfian Wahyudi P.¹, Dwi Yuliaji¹, Edi Marzuki², dan Mulya Juarsa²

¹Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

*Corresponding author: alfianwahyudi11@gmail.com

Abstrak. Sirkulasi alami adalah kemampuan suatu fluida dalam suatu sistem untuk bersirkulasi secara terus menerus, dengan perbedaan densitas fluida sebagai satu-satunya kekuatan pendorong, untuk mengetahui fenomena ini salah satunya dengan melakukan penelitian secara eksperimental menggunakan fasilitas USSA-FTS01. USSA-FTS01 ini terdiri dari beberapa komponen yaitu, band heater sebagai pemanas, water-jacket cooler sebagai pendingin, sistem refrigerasi, tube berdiameter 1 inch. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perpindahan kalor yang terjadi di water-jacket cooler berdasarkan panas yg diterima dari perbedaan daya heater. Metode penelitian dilakukan secara eksperimen dengan membandingkan daya heater sebesar 655,2 Watt dan 784,1 Watt, dimana aliran air pendingin dari tangki refrigerator disetting sebesar 3,5 LPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar daya heater menyebabkan laju perpindahan kalor semakin besar. Nilai rata-rata laju perpindahan kalor 32,45°C dan 35,97°C.

Abstract. Natural circulation is the ability of a fluid in a system to phenomenon one of them by conducting experimental research using USSA-FTS01 facilities. USSA-FTS01 consists of several components, namely, a band heater as a heater, a water-jacket as a cooler, a refrigeration system, a 1 inch diameter tube. The purpose of this study is to determine the heat transfer thacirculate continuously, with differences in fluid density as the only driving force, to find out this phet occurs in the water-jacket based on the heat received from the variation of heater power. The method used experimentally, with variations in heater power of 528.4 watt, 655.2 Watt, and 784.1 Watt with a flow in the 3.5 LPM cooling system. The results of the study show that more heaters are increasing with each passing increase. The average value of the heat transfer rate is 32.450C and 35.970C.dan 35,97°C.

Kata kunci: Perpindahan kalor, sirkulasi alami, variasi daya, USSA-FTS01.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air:3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi Baru: 0,2%[1]. Penyebab meningkatnya konsumsi energi listrik adalah meningkatnya target pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan pembangunan perkantoran, pertokoan, perusahaan, industri, pabrik dan lainnya[2].

Sirkulasi alami adalah kemampuan suatu fluida dalam suatu sistem untuk bersirkulasi secara terus menerus, dengan perbedaan kepadatan sebagai satu-satunya kekuatan pendorong[3]. Sirkulasi

alam yaitu fenomena sederhana yang terjadi pada proses perputaran fluida secara kontinyuitas dan tanpa adanya energi dari luar yaitu energi listrik. Sistem sirkulasi alam memanfaatkan fenomena gaya *bouyancy* dan gaya gravitasi akibat adanya perbedaan densitas air karena terjadi perbedaan temperatur. Beberapa peneliti seperti S.M Seyyedi dan kawan-kawan juga telah mempelajari sirkulasi alam satu fasa dengan untai rektanguler sederhana[4]. Sebuah fasilitas skala besar telah dibangun untuk mempelajari fenomena sirkulasi alami sistem pendingin pasif[5]. Kondisi ini dapat digambarkan dengan untai tertutup dengan sumber panas berada di posisi yang lebih rendah dan pendingin berada pada bagian yang lebih tinggi[6], mekanisme aliran sirkulasi alami dalam loop tertutup juga dikenal sebagai *thermosiphon* dihasilkan dari perbedaan densitas[7].

Pengaruh beda temperatur lebih dominan dibanding beda ketinggian terhadap laju aliran. Kemudian bahwa aplikasi aliran sirkulasi alam dapat juga dimanfaatkan untuk mengkonversi buangan kalor dari sistem pembangkit termal lainnya[8]. Penelitian yang paling banyak dilakukan mengarah pada fenomena perpindahan panas pendidihan, semenjak teras reaktor mengalami kehilangan pendinginan (post-LOCA) hingga kecelakaan parah (Severe Accident), yaitu lelehnya teras[9]. Berdasarkan uraian diatas pemahaman terhadap konsep dan fenomena sirkulasi alam perlu dilakukan. Salah satunya dengan membangun fasilitas eksperimen Untai Simulasi Sirkulasi Alam (USSA FTS-01).

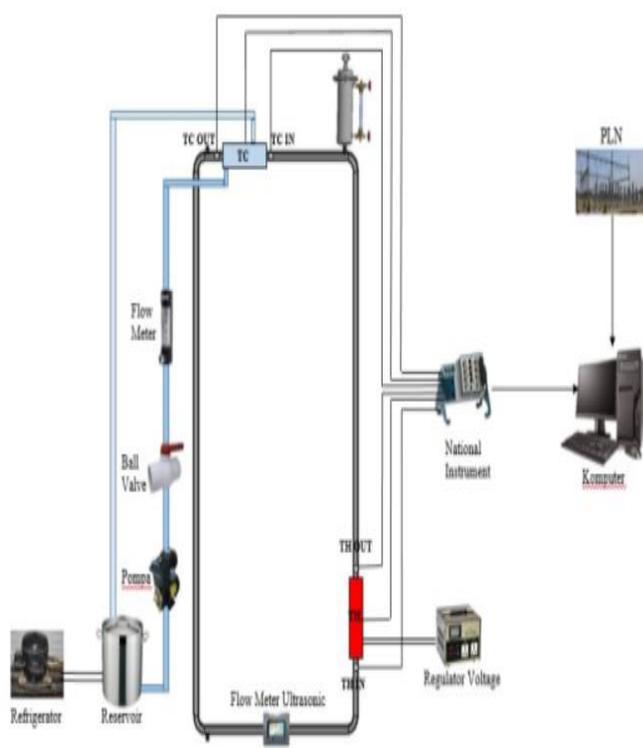
Fasilitas USSA FTS-01 bekerja berdasarkan Prinsip kerja dengan memanfaatkan fenomena gaya bouyancy dan gravitasi akibat adanya perbedaan densitas air karena terjadi perbedaan temperatur dalam untai tertutup, sehingga menghasilkan sirkulasi secara alami. Sumber panas alami disimulasikan dengan 5 buah *band heater* yang berkapasitas total 1kW dan mempunyai panjang total 30cm, kemudian sumber pendinginnya menggunakan *water-jacket cooler* sebagai *cooler*-nya dengan panjang 30cm. *Band heater* akan memberikan kalor pada salah satu sisi dari untai yang kemudian akan terserap oleh air di dalam loop untuk menimbulkan gaya *bouyancy*, lalu disisi lain dari loop *water-jacket cooler* berfungsi sebagai penerima kalor yang dilepaskan oleh loop dari air sehingga timbul gravitasi yang lebih kuat akibat meningkatnya densitas air. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah memperoleh analisis perpindahan kalor di bagian *water jacket cooler* berdasarkan variasi daya *heater*, daya yang digunakan sebesar 655,2 Watt dan 784,1 Watt dengan aliran sistem pendingin sebesar 3,5 LPM.

METODOLOGI

Setup Eksperimental

Sebelum penelitian dilakukan, pengisian untai dengan cara memvacum seluruh untai melalui katup vacum sehingga air masuk melalui katup *inlets* sampai tekanan hidrostatis 1 bar *gauge* (untuk mengecek kebocoran). Setelah tidak terjadi kebocoran, eksperimen sudah bisa dilakukan. Setelah air terisi pada untai, kemudian mengatur sistem instrumentasi menggunakan National Instrument (NI) tipe NI9188 dan NI-9213 dan LabView. Kemudian menyalakan refrigerant *water-jacket cooler* sampai temperatur mencapai kondisi konstan 8°C dan temperatur air didalam *tube* berada di sekitaran 27°C. Setelah memastikan aliran sistem pendingin berada di 3,5 LPM,

selanjutnya eksperien dapat dilakukan. Eksperimen dilakukan dengan perbedaan daya *heater* sebesar 655,2 Watt dan 784.1 Watt. Gambar 1 menunjukkan setup eksperimen fasilitas untai USSA-FTS01, dimana fasilitas tersebut terdiri dari system pemipaan yg tersusun dari tube berbentuk rectangular, bagian pemanas terdiri dari 4 buah *band heater* dengan masing-masing daya 250 Watt (total daya 1000 watt), bagian *cooler* yang disebut sebagai *water-jacket cooler* terdiri dari pipa PVC berongga yang berisi air yang bersentuhan dengan permukaan luar tube. *Water-jacket cooler* terkoneksi dengan selang berisi air yang didinginkan menggunakan refrigerator dan di alirkan ke water jacket menggunakan pompa dan di ukur aliran menggunakan flowmeter. Variasi laju aliran pendingin dari tangki refrigerator ke water jacket diatur oleh bal-valve dengan variasi sudut bukaan katup.



Gambar 1. Set up prosedur penelitian.

Kendali daya pada band-heater dilakukan dengan model system control digital melalui pengaturan setting temperature di permukaan luar tube di daerah heater. Sepanjang bagian tube di untai rectangular di pasang termokopel sebanyak 15 termokopel.

Analisis Perhitungan

Untuk memperoleh tahanan termal menyeluruh pada sisi cooler dapat menggunakan persamaan(1): [10]

$$R_{c-tot} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_{air}} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_{ss} LA} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_{air}} \quad (1) \quad [10]$$

Diketahui bahwa panjang total pipa, L adalah 6 meter, dengan luas penampang A = 0,0241 m², sedangkan jari-jari r₁=0,0122 m dan r₂=0,0128 m. Nilai konduktivitas material stainless steel 304 adalah 12,117 W/m.K dan koefisien perpindahan kalor antara SS dan air adalah 100 W/m².K. Setelah diperoleh nilai hambatan menyeluruh dari air dalam water jacket menuju air di dalam tube, kemudian dihitung laju perpindahan kalor dari air dalam tube menuju air dalam water-jacket cooler menggunakan persamaan, [10]

$$q_c = \frac{\Delta T_c}{R_{c-tot}} \quad (2)$$

di mana

$$\Delta T_c = \bar{T}_c - T_{CSF}, \text{ sedangkan } \bar{T}_c \text{ diperoleh dari,}$$

$$\bar{T}_c = \frac{T_{c-in} + T_{c-out}}{2}$$

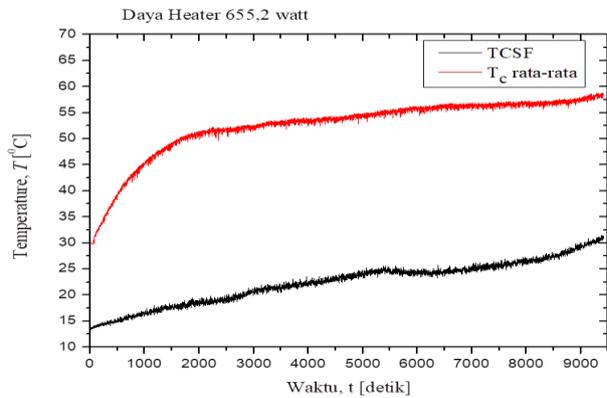
Setelah diperoleh nilai laju perpindahan kalor dari air dalam tube menuju air di dalam water jacket, kemudian di kurva hubungan perubahan daya dan kemampuan perpindahan kalor di bagian water jacket cooler.

HASIL DAN PEMBAHASAN

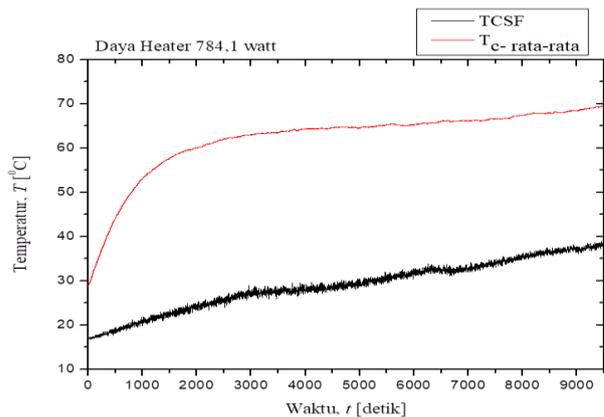
Hasil Pengukuran Temperatur

Pengukuran dalam penelitian ini terdapat 15 titik pengukuran. Dalam pembahasan ini hanya pada 4 titik pengukuran temperatur yang digunakan untuk perhitungan perpindahan kalor. Gambar 2 dan 3 menampilkan hasil perbandingan TCSF dengan Tc rata-rata berdasarkan perbedaan daya heater sebesar 655,2 Watt dan 784,1 Watt. Gambar 2 menunjukkan kasus daya heater 655,2 Watt. Temperatur pada Tc rata-rata mengalami *transient* pada detik 0 sampai detik ke 2000 selanjutnya meningkat sampai detik ke 9500 hingga mencapai temperatur 58,74 °C sedangkan TCSF di detik 0 sampai dengan detik 9500 mengalami peningkatan hingga mencapai temperatur 31,29 °C. Dan gambar 3 menunjukkan kasus daya heater 784,1 Watt.

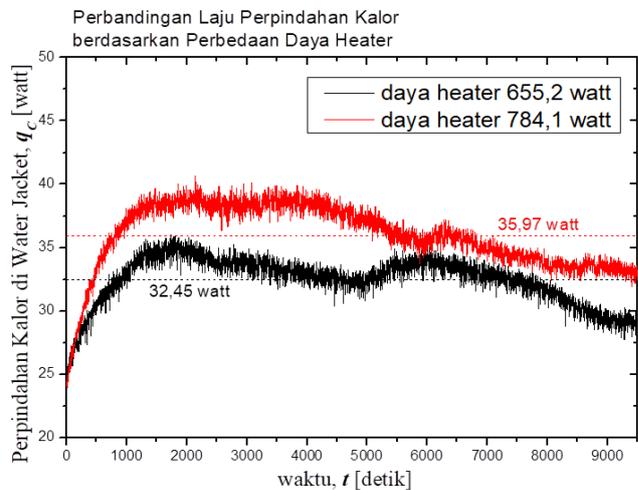
Temperatur pada Tc rata-rata mengalami *transient* pada detik 0 sampai detik ke 1500 selanjutnya meningkat sampai detik ke 9500 hingga mencapai temperatur 70,1°C sedangkan TCSF di detik 0 sampai dengan detik 9500 mengalami peningkatan hingga mencapai temperatur 39,87°C.



Gambar 2. Perbandingan T_c- rata rata dengan TCSF pada daya heater 655,2 Watt.



Gambar 3. Perbandingan T_c- rata rata dengan TCSF pada daya heater 784,1 Watt.



Gambar 4. Perbandingan laju perpindahan kalor berdasarkan perbedaan daya heater 655,2 Watt dan 784,1 Watt.

Berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa pada detik 0 sampai 4500 laju perpindahan kalor yang terjadi *water-jacket cooler* terus meningkat hanya saja pada detik selanjutnya terjadi penurunan. Perpindahan kalor rata-rata pada daya heater 655,2 Watt sebesar 32,45°C dan pada daya heater 784,1 Watt sebesar 35,97°C. Dalam hal ini, pengaruh perubahan daya heater akan berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor.

Kesimpulan

Hasil analisis nilai laju perpindahan kalor di bagian *water-jacket cooler* berdasarkan perbedaan daya heater, menyimpulkan bahwa nilai laju perpindahan kalor pada untai USSA-FTS01 dipengaruhi oleh perbedaan daya heater yang meningkat dengan perbedaan daya heater sebesar 655,2 watt dan 784,1 watt. Nilai rata-rata laju perpindahan kalor di *water-jacket cooler* 32,45°C dan 35,97°C.

Penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Fakultas Teknik dan Sains UIKA untuk menyediakan fasilitas dan dukungan moril hingga terlaksananya riset ini. Kepada mahasiswa riset di Lab. EDFEC (Acep H, Fazar Mu'alif, Bernard R, Kiki A) atas kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Referensi

- [1] Jurnal IPTEK., "Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM Vol 19, No 2 (2015)".
- [2] Teuku Bahran Basyiran, "Konsumsi Energi Listrik, Pertumbuhan Ekonomi dan Penduduk terhadap Emisi Gas Rumah Kaca Pembangkit Listrik di Indonesia" (2017).
- [3] Informasi dari <http://www.corrosionpedia.com/definition/9800/natural-circulation> (diakses pada Kamis-juni-2019).
- [4] S.M. Seyyedi, N. Sahebi, A.S. Dogonchi, M. Hashemi-Tilehnoee 2019., "Numerical and experimental analysis of a rectangular single-phase natural circulation Untai with asymmetric heater position", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 130 (2019) 1343-1357.
- [5] M Juarsa, Giarno, A. N. Rohman, G.B. Heru K., J.P. Witoko, D.T. Sony Tjahyani., "Flow rate and temperature characteristics in steady state condition on FASSIP-01 loop during commissioning" (2018).
- [6] BAO Hui, dkk.2018., "Experimental Study on the Natural Circulation Subcooled Boiling of Square Channel in Fusion Reactor Blanket. Institute of Plasma physics, Chinese academy of science. China Tahun 2018.
- [7] Andi Sofrany Ekariansyah, Hendro Tjahjono, Mulya Juarsa, Surip Widodo., "Analysis Of The Effect Of Elevation Difference Between Heater and Cooler Position In The FASSIP-01 Test Loop Using RELAP5(2015).
- [8] Juarsa, M. dkk. 2014., "Preliminary Study On Mass Flow Rate In Passive Cooling Experimental Simulation During Transient Using NC-QUEEN Apparatus". Tangerang:BATAN. *atom Indonesia* Vol 40 No 3, 141-147.
- [9] Mulya Juarsa, Kiswanta, Edy S., Joko P.W., Ismu H., Puradwi I.W., "Fenomena Perpindahan Panas Pendidihan Berdasarkan Peristiwa LOCA dan Kecelakaan Parah"(2010).
- [10] Yogi Sirodz Gaos, Mulya Juarsa, Edi Marzuki, Januar Akbar, "Efek perubahan sudut kemiringan terhadap perpindahan kalor dan laju aliran air pada untai sirkulasi alamiah", *Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor* (2011). <http://jurnal.batan.go.id/index.php/tridam/article/view/237/225>