

VISUALISASI TERMAL ALAT PENUKAR KALOR SHELL AND TUBE

Hamdi, Candra Damis Widiawaty, Rosidi, Baharudin, Haolia Rahman✉

Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G.A. Siwabessy Kampus UI Depok 16425, Indonesia.

✉e-mail: haolia.rahman@mesin.pnj.ac.id

Abstract

Common methods to evaluate the thermal phenomena in shell and tube heat exchangers are carried out through numerical studies. Whereas, the characteristics of the convection-conduction heat transfer phenomenon inside the heat exchanger need to be visualized in order to describe the real phenomena inside the structure. In the present study, visualization of the shell and tube was carried out experimentally. The heat exchanger was cut transversely to obtain the temperature distribution profiles using photothermal. The temperature profile of photothermal is compared with the numerical studies. The temperature difference between the inlet shell and inlet tube was set at about 30oC. The results show that the heat distribution of the experimental view and numerical studies are identical. The measurement of the log mean temperature difference shows between experimental and numerical studies have insignificant differences.

Keywords: Thermal visualisation, shell and tube, heat exchanger, numerical study.

Abstrak

Pada umumnya fenomena termal pada sistem alat penukar kalor tipe shell and tube dievaluasi menggunakan simulasi atau studi numerik. Padahal, karakteristik dari fenomena perpindahan panas konveksi-konduksi pada bagian dalam penukar kalor tipe shell and tube perlu divisualisasikan untuk menggambarkan fenomena sesungguhnya yang terjadi didalam strukturnya. Pada penelitian ini, visualisasi dari alat penukar kalor shell and tube dilakukan secara eksperimental. Alat penukar kalor shell and tube dipotong melintang untuk mengetahui profil distribusi termal melalui photothermal. Profil temperature hasil photothermal dibandingkan dengan hasil studi numerik. Perbedaan antara temperatur masuk shell dan masuk tube diset sebesar 30oC. Hasilnya menunjukkan bahwa distribusi panas pada prototipe dan studi numerik mempunyai profil identik. Pengukuran perbedaan temperatur logaritmik menunjukkan hasil antara studi eksperimental dan studi numerik memiliki selisih yang tidak signifikan.

Kata kunci : Visualisasi termal, shell and tube, alat penukar panas, studi numerik.

1. Pendahuluan

Perancangan alat penukar kalor (APK) sudah banyak dipermudah dengan bantuan perangkat lunak sehingga sebelum proses manufaktur, faktor-faktor kegagalan dapat diminimalisir [1]. Dengan adanya *computational fluid dynamic* (CFD) dapat membantu proses desain, dan optimasi sebuah APK. Penelitian menggunakan objek APK tipe *shell and tube* dan perhitungan simulasi numerik (CFD) telah banyak dilakukan, salah satunya dengan fluida pendingin air dan fluida panas oli [2,3,4]. Wang [2] mengungkapkan bahwa hasil simulasi numerik menunjukkan penurunan temperatur oli sebesar 2°C sedangkan metode Kern menghasilkan penurunan temperatur oli sebesar 3°C. Selain itu CFD mampu melakukan analisis lokal korosi akibat *overheating* pada reboiler di perusahaan pupuk [5]. Rahman [6] mengintegrasikan sistem kontrol dan

monitoring pada prototipe APK *shell and tube* agar dapat melihat kinerja APK secara *real-time*.

Li [7] menunjukkan Distribusi perpindahan panas pada APK *shell and tube* lokal ditentukan secara eksperimental menggunakan metode berdasarkan perpindahan massa konvektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perpindahan panas didistribusikan secara tidak homogen pada permukaan tabung, dan distribusi keliling bergantung pada bilangan Reynolds. Lin [8] menyajikan pengamatan visualisasi melalui *Infrared Thermal Image* pada perpindahan panas *plate heat exchanger* dengan berbagai pengaturan aliran dan kondisi panas menggunakan *refrigerant* R-410A. Hasil yang diperoleh dari pengamatan ini adalah untuk memperkirakan luas wilayah *superheat* dari penguapan refrigeran dua fase di *plate heat*

exchanger. Jin [9] menggabungkan pengukuran koefisien perpindahan panas lokal dan visualisasi termal pada jenis *plate heat exchanger* secara bersamaan. Tanah liat digunakan sebagai penyerap panas sehingga visualisasi termal dapat terlihat pada bahan ini. Studi lainnya untuk mengungkap karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan pada *louvered fin and round tube heat exchangers* telah dilakukan oleh Okbaz [10]. Simulasi numerik dilakukan untuk berbagai sudut *louver*, panjang *louver (pitch)*, *fin pitch* dan kecepatan udara bagian *frontal*. Studi visualisasi juga dilakukan namun hanya visualisasi aliran dengan sistem *particle image velocimetry* [11]. Bahan penyerap panas sebagai media dalam visualisasi termal mempunyai karakteristik kapasitas panas (C_p dalam unit kJ/kg.K) yang tinggi seperti *phase change material* [12,13], etilen glikol[14], atau air[15].

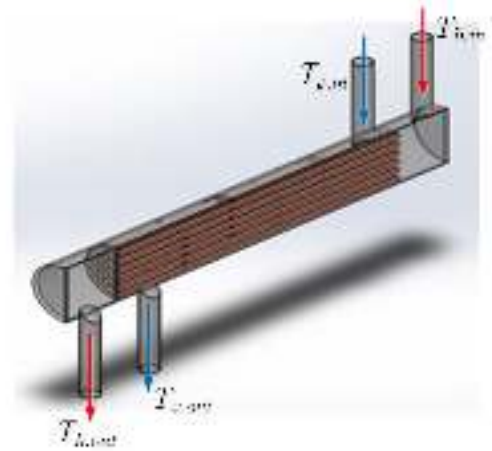
Pada penelitian ini dirancang alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang dipotong secara memanjang agar distribusi termal dapat divisualisasikan. Studi numerik menggunakan CFD digunakan sebagai validasi model pada APK *shell and tube*. Studi ini bertujuan untuk mendapatkan profil distribusi termal pada *cross section* APK *shell and tube* kemudian membandingkan hasil visualisasi ekperimental dengan studi numerik.

2. Metode Penelitian

3.1 Model *shell and tube*

Alat penukar kalor *shell and tube* dipotong secara memanjang sehingga visualisasi termal dapat dilakukan pada bagian melintang bidang aliran. Objek pengujian ini dibuat dalam permodelan *computer-aided design (CAD)* seperti terlihat pada Gambar 1. Material *shell* terbuat dari pipa akrilik 4", sedangkan inlet dan outlet pada sisi *shell* dan *tube* menggunakan pipa akrilik 1". *Tube* terbuat dari pipa tembaga 3/4" dengan ketebalan 0.5 mm dengan panjang 432 mm dan berjumlah 25 buah yang disusun

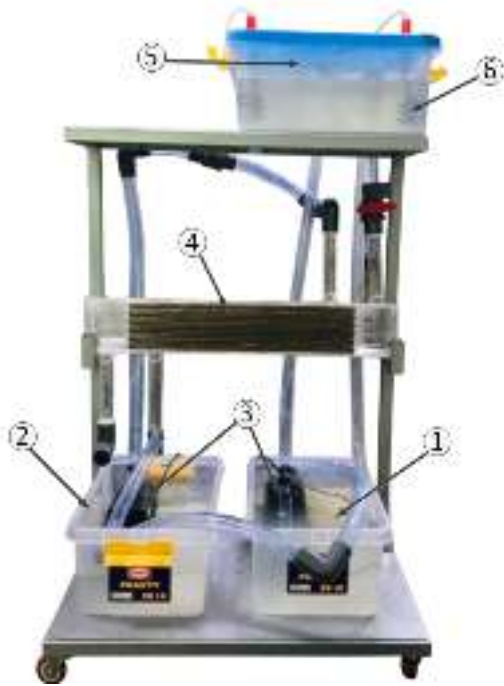
secara *rotated square*. *Baffle* menggunakan akrilik dengan ketebalan 5 mm dan berjumlah 4 buah yang dipasang secara bersilangan satu dengan lainnya.



Gambar 1. Model CAD *shell and tube*

3.2 Rangkaian Pengujian

Dalam melakukan pengujian APK *shell and tube*, perlu didukung oleh kelengkapan pengujian berupa struktur rangka, sistem pemipaan, pompa, tangki, thermometer, dan sistem kelistrikan yang dapat terlihat pada Gambar 2. Pemanas elektrik berkapasitas 250 watt sebanyak 2 buah dipasang pada tangki HF2 untuk memanaskan fluida panas hingga mencapai temperatur 40°C. Pompa dipasang pada tangki CF untuk mensirkulasikan air dingin (10°C) dan pada tangki HF1 untuk mensirkulasikan air panas (40°C). Pada pengujian secara ekperimental, kamera *photothermal* digunakan untuk memvisualisasikan distribusi termal bagian yang diobservasi.



Gambar 2. Rangkaian pengujian APK, (1) Tanki HF1, (2) Tanki CF, (3) Pompa, (4) APK, (5) Tanki HF2, (6) Heater.

3.3 Studi numerik

Pada studi numerik, platform yang digunakan adalah fitur *flow simulation* pada perangkat lunak Solid Work versi 2018. Dengan input parameter model sesuai dengan dimensi prototipe, dan set temperatur dan laju aliran sesuai dengan pengukuran secara eksperimental (terdapat pada sub-bab hasil). Jenis aliran internal dengan dinding luar *shell* diasumsikan adiabatik.

3.4 Perhitungan performa APK

Untuk mengetahui performa dari APK yang diukur secara eksperimental dan simulasi, maka evaluasi dilakukan menggunakan metode perbedaan temperatur logaritmik atau *log mean temperature difference* (LMTD) seperti diformulasikan sebagai berikut :

$$LMTD = \frac{(T_{h,in} - T_{c,in}) - (T_{h,out} - T_{c,out})}{\ln \ln \left(\frac{T_{h,in} - T_{c,in}}{T_{h,out} - T_{c,out}} \right)} \quad (1)$$

4. Hasil

Hasil pengukuran temperatur secara eksperimental pada sisi masuk dan keluar *shell* dan *tube* dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan laju aliran pada sisi masuk *shell* sebesar 0,1825 kg/s dan sisi masuk *tube* sebesar 0,83 kg/s.

Tabel 1. Pengukuran Temperatur sisi masuk dan keluar *shell* dan *tube*

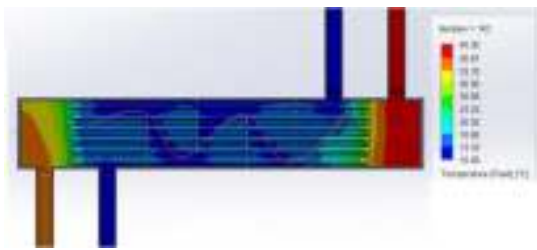
$T_{h.out}$	$T_{c.out}$	$T_{h.out}$	$T_{c.out}$
35 °C	11,03 °C	32,35 °C	17,76 °C

Hasil *photothermal* pada prototipe dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat pada gambar bahwa temperatur inlet pada *shell* sebesar 35°C sedikit berbeda dengan pengukuran yang dilakukan secara langsung di tangki HF2 sebesar 40°C. Hal ini dikarenakan pada sisi inlet *tube* terhalang oleh dinding penutup *shell* sehingga temperatur yang tertangkap oleh *photothermal* merupakan temperatur *drop* setelah melewati hambatan dinding *shell*. Berbeda dengan distribusi termal pada Gambar 4 yang merupakan *plot area* temperatur menggunakan simulasi numerik, dimana temperatur inlet *shell* tetap menunjukkan temperatur 40°C. Perbedaan antara hasil visualisasi termal pada eksperimental dan numerik tidak terlalu signifikan (identik Sebagian) dan hal ini dapat diterima karena adanya faktor ketidakpastian yang terdapat pada pengukuran secara eksperimental.

Fenomena yang dapat terlihat dengan jelas adalah profil distribusi termal pada sisi *shell* yang terlihat identik dari kedua hasil visualisasi. Profil tersebut diperjelas menggunakan garis bantu yang terdapat pada Gambar 3 dan Gambar 4 yang merupakan profil dari aliran fluida dingin melewati hambatan *buffle*.



Gambar 3. Visualisasi *photothermal* pada prototipe



Gambar 4. Hasil distribusi temperatur menggunakan simulasi.

Pada pengujian eksperimental, pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali dengan interval pengujian tiap 5 menit dalam waktu 1 jam. Rangkuman pengujian kinerja APK dalam bentuk LMTD dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai LMTD dengan menggunakan metode eksperimental mempunyai temperatur lebih rendah 20% dari LMTD menggunakan studi numerik. Perbedaan nilai LMTD ini tidak terlalu signifikan menyangkut banyak ketidakpastian saat pengukuran eksperimental dilakukan.

Tabel 1. LMTD hasil studi numerik dan eksperimental

LMTD Studi numerik	LMTD Eksperimental
26,9°C	21,4 °C

5. Kesimpulan

Visualisasi termal pada sisi melintang prototipe *shell and tube* telah berhasil dilakukan. Hasil secara eksperimental menunjukkan bahwa distribusi temperatur pada aliran *shell* terlihat identik Sebagian dengan hasil pada studi numerik. Perbedaan temperatur

logaritmik antara studi numerik dan eksperimental menunjukkan nilai yang tidak terlalu signifikan.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh UP2M melalui skema Penelitian Mandiri dengan nomor kontrak Nomor Kontrak : B.316/PL3.B/PN.00.03/2036

Daftar Pustaka

- [1] Leong K.C., Toh K. C., Shell and tube heat exchanger design software for educational applications, *International Journal Engineering*, Vol. 14(3), 217-224. 1998.
- [2] Wang J., Bian H., Cao X., Ding M., Numerical performance analysis of a novel shell-and-tube oil cooler with wire-wound and crescent baffles, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 184, 116298. 2021.
- [3] Widiawaty C.D., Gunadi G.G.R., Syuriadi A. Pemodelan dan Analisis Kinerja dengan Metode CFD. *Politeknologi*, Vol. 16 (3). 2017.
- [4] Ender O., Ilker T., Shell Side CFD Analysis of a Small Shell and tube Heat exchanger. *Energy Conversion and Management*, 1004-1014. 2010.
- [5] Widiawaty C.D., Analisis desain dan redesain alat penukar kalor tipe shell and tube dengan CFD. UI Depok. 2012.
- [6] Rahman H., Widiawaty C.D., Hamdi, Setijogiarto E.N., Sistem akuisisi data berbasis arduino pada rekayasa prototipe shell and tube heat exchanger, *Politeknologi* vol. 19(3), 2020.
- [7] Li H., Volker K., Visualization and determination of local heat transfer coecients in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement by mass transfer measurements, *Experimental Thermal and Fluid Science* Vol. 17, 210-216, 1998.
- [8] Lin Y.H., Li G.C., Yang C.Y. An experimental observation of the

- effect offlow direction
 forevaporation heat transfer in plate
 heat exchanger, *Applied Thermal
 Engineering*, Vol. 88, 425-432.
 2015.
- [9] Jin S., Hrnjak P.A., New method to
 simultaneously measure local heat
 transfer and visualize flow boiling in
 plate heat exchanger, *International
 Journal of Heat and Mass Transfer*,
 Vol. 113, 635–646. 2017.
- [10] Okbaz A., Pinarbas A., Olcay A.B.,
 Aksoy M.H. An experimental,
 computational and flow
 visualization study on the air-side
 thermal and hydraulic performance
 of louvered fin and round tube heat
 exchangers, *International Journal of
 Heat and Mass Transfer*, Vol. 121,
 153–169. 2018.
- [11] Delgado M., Hassan Y.A., Anand
 N.K., Experimental flow
 visualization study using particle
 image velocimetry in a helical coil
 steam generator with changing
 lateral pitch geometry *International
 Journal of Heat and Mass Transfer*,
 Vol. 133, 756-768, 2019.
- [12] Yang X., Yu J., Xiao T., Hu Z., He
 Y.L., Design and operating
 evaluation of a finned shell-and-
 tube thermal energy storage unit
 filled with metal foam, *Applied
 Energy*, Vol. 261, 114385, 2020
- [13] Yazici M.Y., Saglam M., Aydin O.,
 Avcic M., Thermal Energy Storage
 Performance Of PCM/Graphite
 Matrix Composite In A Tube-In-
 Shell Geometry, *Thermal Science
 and Engineering*, 2021.
- [14] Selvam C. , Balaji T., Mohan L.D.,
 Harish S., Convective heat transfer
 coefficient and pressure drop of
 water-ethylene glycol mixture with
 graphene nanoplatelets,
*Experimental Thermal and Fluid
 Science*, Vol.80, 67-76, 2017.
- [15] Saputra I., Holid A., Aziz R.,
 Pengujian dan perhitungan
 performance water cooled chiller
 tipe shell and tube kapasitas 0.14 TR
 pada aplikasi cold storage, *Jurnal
 Teknologi*, Vol. 6, (2) 2016.