

On the Effect off Tube Bank Configuration to Heat Transfer Effectiveness in Heat Pipe Heat Exchanger for Air Conditioning System

Ragil Sukarno^{1*}, Nandy Putra², Ridho Irwansyah³

^{1,2,3}Applied Heat Transfer Research Group, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424

*Corresponding author: ragil.sukarno01@gmail.com

Abstract. Heat recovery with heat pipes is a very effective device in energy saving efforts. This study investigates the effect of tube bank configuration on heat pipe heat exchanger (HPHE) to heat transfer effectiveness applied in ducting of air conditioning system. The method used in this research is computation fluid dynamic. In the numerical simulation, heat pipes are modeled as super conductor solid cylinder that has high thermal conductivity. HPHE is arranged in staggered and varied into three models, namely 2 rows with 25 mm pitch, 2 rows 20 mm pitch and 3 rows 25 mm pitch. The simulation is carried out in two stages, first applies fixed velocity of 2 m/s, and air inlet temperature variations 30 °C, 35 °C, and 40 °C. The second applies fixed air inlet temperature of 35 °C with velocity variations of 1 m/s, 1.5 m/s and 2 m/s. The simulation shows that the higher air inlet temperature in evaporator section, the higher thermal effectiveness of HPHE. At the same air inlet velocity 2 m/s, the highest effectiveness occurred in HPHE model 3 rows 25 mm pitch, at the air inlet temperature of 40 °C, which is 0.332. The higher air inlet velocity, the lower the effectiveness of the HPHE. At inlet air temperature of 35 °C, the highest effectiveness occurred in HPHE model 3 row 25 mm pitch at air speed of 1 m/s, which is 0.315. HPHE of 3 rows 25 mm pitch results greater heat transfer effectiveness than HPHE 2 rows 25 mm pitch and HPHE 2 rows 20 mm pitch. However, HPHE with 2 rows 20 mm pitch results almost same effectiveness compared with HPHE 3 lines 25 mm pitch. With significant difference of pipes number, but has almost same thermal effectiveness, using of smaller pitch can be an alternative in designing a more efficient of heat exchanger.

Abstrak. Sistem *heat recovery* dengan menggunakan *heat pipe* merupakan alat yang sangat efektif dalam usaha penghematan energi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konfigurasi pipa pada *heat pipe heat exchanger (HPHE)* terhadap efektifitas perpindahan kalor yang diterapkan pada *ducting* sistem pengkondisian udara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pendekatan metode komputasi fluida dinamik. Dalam melakukan simulasi, *heat pipe* di modelkan sebagai sebuah silinder pejal super konduktor yang memiliki konduktifitas thermal tinggi. HPHE disusun secara *staggered* dan divariasikan menjadi tiga model, yaitu 2 baris dengan *pitch* 25 mm, 2 baris *pitch* 20 mm dan 3 baris *pitch* 25 mm. Simulasi dilakukan dengan dua tahap, yang pertama menerapkan kecepatan tetap sebesar 2 m/s, dan variasi temperatur udara masuk 30 °C, 35 °C, dan 40 °C. Kondisi kedua dengan menerapkan temperatur tetap sebesar 35 °C dengan variasi kecepatan 1 m/s, 1.5 m/s dan 2 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur udara masuk pada sisi evaporator, maka semakin tinggi efektifitas thermal HPHE. Pada kecepatan udara masuk sebesar 2 m/s, efektifitas tertinggi terjadi pada HPHE model 3 baris *pitch* 25 mm pada suhu udara masuk 40 °C, yaitu sebesar 0,332. Semakin tinggi kecepatan udara masuk, maka efektifitas HPHE akan semakin rendah. Pada temperatur udara masuk 35 °C, efektifitas tertinggi terjadi pada HPHE model 3 baris *pitch* 25 mm pada kecepatan 1 m/s, yaitu sebesar 0,315. HPHE 3 baris *pitch* 25 mm menghasilkan efektifitas perpindahan panas yang lebih besar dibandingkan HPHE 2 baris dengan jarak antar pipa yang sama. Dengan perbedaan jumlah pipa yang signifikan, namun diperoleh efektifitas thermal yang hampir sama, maka penggunaan *pitch* yang lebih kecil bisa menjadi alternatif dalam perancangan *heat exchanger* yang lebih efisien.

Keywords: Heat Pipe Heat Exchanger, konfigurasi pipa, efektifitas.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Ketergantungan terhadap bahan bakar minyak saat ini terus mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan standar kualitas kenyamanan yang diharapkan oleh masyarakat. Konsumsi energi yang tinggi memberikan dampak secara langsung

terhadap kenaikan emisi gas buang dan menjadi permasalahan di tengah krisis energi secara global. Dalam sebuah bangunan komersial, seperti perkantoran atau rumah sakit, sistem heating, ventilasi dan pengkondisian udara (HVAC) mempunyai peranan yang sangat dominan untuk memberikan kenyamanan bagi penghuninya, yang

dalam hal ini untuk pendinginan suhu ruangan, penurunan kadar kelembaban udara, dan memastikan pasokan udara bersih ke dalam ruangan [1]. Dari total kebutuhan energi secara keseluruhan untuk sebuah bangunan komersial hampir 60% digunakan untuk pengoperasian sistem pengkondisian udara [2,3]. Sehingga peningkatan kinerja sistem pengkondisian udara dengan tujuan untuk penghematan energi menjadi peluang dan tantangan yang harus dapat diselesaikan.

Sistem *heat recovery* dengan menggunakan heat pipe dianggap sebagai alat yang paling efektif dan salah satu cara yang menarik dalam usaha penghematan energi dan mengurangi efek global warming [4,5]. Penggunaan komponen tidak bergerak dan tanpa energi tambahan menjadi kelebihan dari penggunaan *heat pipe* dalam sistem *heat recovery* [6]. Pada sistem pengkondisian udara, Sisi evaporator dari *heat pipe heat exchanger* (HPHE) digunakan sebagai pendingin awal udara sebelum masuk melalui koil pendingin [3].

Beberapa penelitian untuk mengetahui potensi penggunaan HPHE terhadap penghematan energi dan kinerja HPHE pada variasi kondisi operasi pada sistem pengkondisian udara telah banyak dilakukan. Noie-Baghban dan Majideian (2000) melakukan penelitian pertama kali dalam penerapan HPHE untuk sistem pengkondisian udara pada sebuah ruangan rumah sakit. Dari hasil eksperimen didapatkan efektifitas HPHE adalah 0.16 [6]. Hussam Jouhara et al. (2017) melakukan penelitian pada *heat exchanger* yang menggunakan sembilan thermosyphon dengan konfigurasi inline dilengkapi fin-fin pada sisi evaporator dan sisi kondensor dengan menggunakan air sebagai fluida kerja. Dari hasil eksperimen menunjukkan penghematan energi yang dihasilkan cukup signifikan [7]. Tushar S, et al. (2014), melakukan eksperimen untuk melihat penghematan energi yang bisa dihasilkan dari penggunaan HPHE pada sistem AC dengan memvariasikan orientasi jumlah baris dan variasi kondisi operasional. Dari hasil pengujian, penggunaan HPHE untuk penghematan energi pada sistem AC sangat direkomendasikan. Semakin bertambah jumlah baris HPHE, suhu keluar pada sisi evaporator semakin menurun, efektifitas *heat exchanger* dan *energy saving* semakin meningkat. [8]. Nandy Putra, et al. (2017) melakukan penelitian penggunaan HPHE pada sistem pengkondisian udara yang dipasang pada sistem *ducting*. Heat pipe terdiri dari pipa-pipa yang disusun secara *staggered* dalam beberapa variasi jumlah baris 2, 4, dan 6 dengan total 39 baris pada susunan 6 baris. Hasil penelitian menunjukkan

terjadinya penghematan energi yang signifikan pada pengoperasian pada sistem pengkondisian udara. *Heat recovery* maksimal yang bisa diperoleh mencapai 1404.29 kJ/hour dan efektifitas *heat exchanger* sebesar 0.15 [3]. Nandy Putra, et al. (2017) melakukan pengembangan sistem HPHE dengan menambahkan *multi-wavy fins*. Heat pipe yang terdiri dari 42 pipa disusun secara *staggered* dalam 3 baris. Dan pada sisi evaporator dan kondensor dilengkapi masing-masing 120 *multi-wavy fins*. *Heat recovery* yang dihasilkan mengalami peningkatan hampir tiga kali dibandingkan dengan HPHE yang tanpa menggunakan *multi-wavy fins*. Efektifitas *heat exchanger* juga mengalami peningkatan menjadi lebih dari 0,5 [9].

Dalam aplikasi di industri maupun aplikasi riset, penggunaan piranti komputasi fluida dinamik /*Computational fluid dynamics* (CFD) untuk desain thermal telah banyak dilakukan dan merupakan piranti yang sangat membantu. Noie-Baghban dan Majideian (2000) melakukan simulasi komputer pada heat pipe tunggal pada sisi evaporator untuk mendapatkan informasi awal karakteristik desain yang terbaik sebelum melakukan proses fabrikasi dan pengujian secara experimental pada HPHE [6]. Joao Ramos, et al, melakukan permodelan menggunakan CFD dan perhitungan secara numerik untuk memprediksi kinerja perpindahan panas pada *cross flow* HPHE. Dalam permodelan CFD, heat pipe dianggap sebagai sebuah silinder solid dimana konduktifitas thermal diperhitungkan dari analisa terhadap heat pipe [10].

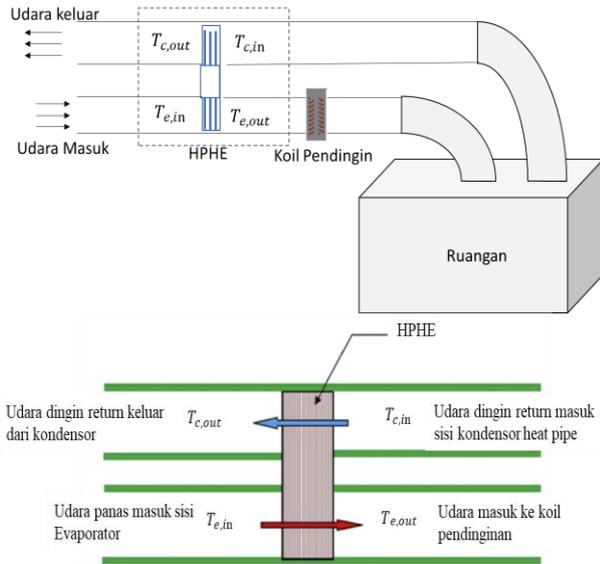
Konfigurasi susunan heat pipe, seperti jumlah baris dan rasio *pitch* terhadap diameter memberikan pengaruh signifikan terhadap efektifitas thermal *heat exchanger* dan besarnya penghematan energi. Sehingga pemilihan konfigurasi yang tepat akan memberikan hasil yang optimal. Hasil dari simulasi ini akan menjadi informasi awal atas desain yang direncanakan, sehingga penghematan energi yang ingin dicapai bisa dihasilkan dengan optimal. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh konfigurasi pipa pada *heat pipe heat exchanger* (HPHE) terhadap efektifitas perpindahan panas yang diterapkan pada *ducting* sistem pengkondisi udara dengan pendekatan CFD.

Metode Penelitian

Deskripsi HPHE

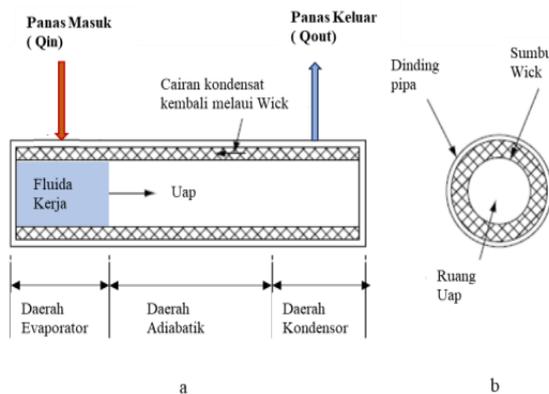
Pada sistem Sistem Pengkondisian Udara, *heat recovery* bisa dilakukan dengan memasang sebuah *heat pipe heat exchanger* (HPHE) pada bagian udara masuk dan udara keluar untuk mensuplai udara dingin ke ruangan melalui sistem *ducting*

seperti ditunjukkan pada skematik pengujian pada gambar 1 [3, 11, 8, 9,12].



Gambar 1. Heat recovery menggunakan HPHE pada ducting sistem pengkondisian udara

Sebuah heat pipe terdiri atas pipa berongga yang kedua ujungnya tertutup yang didalamnya terdapat fluida kerja dan struktur sumbu (*wick*). Daerah heat pipe secara aksial dibagi menjadi tiga bagian yaitu daerah evaporator, adiabatik dan kondensor. Struktur dari heat pipe dan prinsip kerjanya adalah seperti ditunjukkan oleh gambar 2 [13,16].

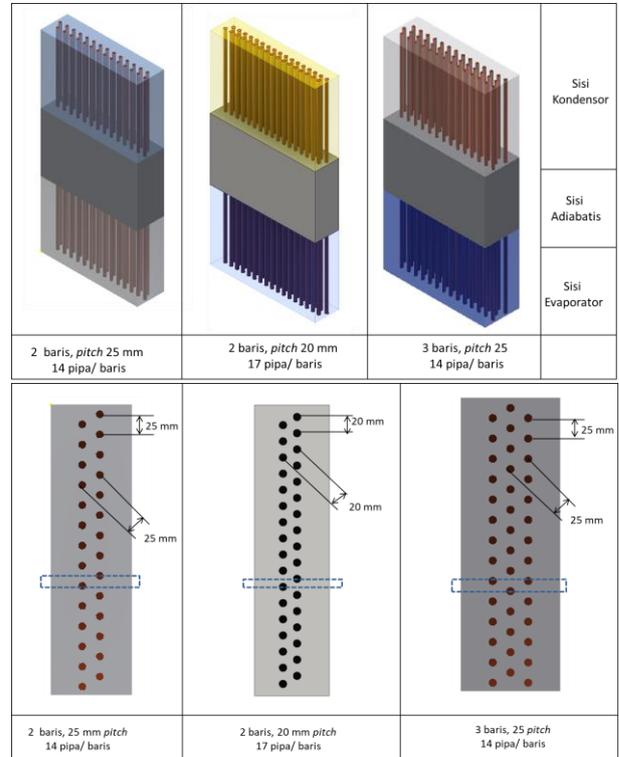


Gambar 2. Proses perpindahan panas heat pipe

Permodelan CFD

Untuk mensimulasikan aliran panas didalam *heat pipe heat exchanger*, pada penelitian ini menggunakan metode komputasi fluida dinamik (CFD). Simulasi menggunakan CFD ini digunakan sebagai langkah awal dalam rancang bangun desain thermal dan analisis aliran fluida dalam sistem HPHE. Tahapan dalam simulasi CFD ini meliputi adalah *pre-processing*, *solver* dan *post-processing*.

Dalam makalah ini, akan disimulasikan pengaruh konfigurasi pipa pada HPHE terhadap efektifitas perpindahan panas yang dihasilkan. HPHE dimodelkan dalam 3 variasi seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Desain dan konfigurasi pipa HPHE

Karena geometri dari konfigurasi pipa simetris, maka yang dimodelkan dalam simulasi hanya pada area sebagian saja pada daerah kotak bergaris putus-putus pada gambar 3[14]. Geometri HPHE yang akan disimulasikan adalah seperti pada table 1.

Tabel 1. Geometri Heat Pipe

Geometri Heat Pipe		
Panjang total heat pipe	L	720 mm
Panjang sisi evaporator	L _v	245 mm
Panjang sisi adiabatik	L _a	220 mm
Panjang sisi kondensor	L _c	255 mm
Diameter luar heat pipe	Do	10 mm

Kondisi Batas

Untuk memodelkan *HPHE* dalam simulasi CFD, heat pipe di modelkan sebagai sebuah silinder pejal superkonduktor yang memiliki konduktifitas thermal yang sangat tinggi. Meterial yang digunakan sebagai dasar adalah tembaga dengan konduktifitas thermal sesuai asumsi bahwa *thermal resistance heat* pipa sebesar 0,1 °C/W/cm² [15].

Tahanan thermal keseluruhan pada sebuah heat pipe sebaiknya serendah mungkin untuk mendapatkan perpindahan thermal yang tinggi, dan dituliskan sebagai berikut :

$$R = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{\dot{Q}} \quad (1)$$

Jika heat pipe diasumsikan sebagai pipa pejal super konduktor, maka konduktifitas thermal aksial dari satu heat pipe bisa didapatkan menggunakan persamaan 3[10]

$$R_{1HP} = \frac{L_{eff}}{kA}, \quad (2)$$

maka

$$k = \frac{L_{eff}}{R_{1HP} A}, \quad (3)$$

dimana :

$$L_{Eff} = \left(\frac{L_{evaporator} + L_{Condensor}}{2} \right) + L_{adiabatis} \quad (4)$$

R_{1HP} adalah tahanan thermal keseluruhan satu heat pipe. L_{eff} adalah panjang efektif *heat pipe*, k adalah konduktifitas thermal satu heat pipe dan A adalah luas penampang dari heat pipe. Nilai k ini nanti akan digunakan sebagai kondisi batas pada permodelan CFD, yaitu sebesar 47000 W/m °C.

Dalam simulasi ini, fluida pada sisi evaporator dan kondensor adalah udara. HPHE disusun secara *staggered* dan divariasikan menjadi tiga model, yaitu 2 baris dengan *pitch* 25 mm, 2 baris *pitch* 20 mm dan 3 baris *pitch* 25 mm. Simulasi dilakukan terhadap ketiga model HPHE dan dilakukan dalam dua tahap simulasi. Tahap pertama menerapkan kecepatan tetap sebesar 2 m/s, dan temperatur udara masuk sisi evaporator, $T_{e,in}$ divariasikan pada 30 °C, 35 °C, dan 40 °C. Yang kedua menerapkan temperatur tetap sebesar 35 °C dengan variasi kecepatan 1 m/s, 1.5 m/s dan 2 m/s seperti ditunjukkan pada tabel 2. Pada sisi adiabatik heat pipe, tidak ada perpindahan yang masuk maupun keluar pipe sehingga heat flux pada domain adiabatik ini adalah nol. Aliran fluida dan perpindahan panas didalam sistem HPHE diasumsikan dalam kondisi *steady state*.

Tabel 2. Tahapan Simulasi

Tahapan	Komponen	Kondisi Batas
Simulasi I	Inlet	Evaporator - Kondisi batas : <i>velocity inlet</i> , $T_{e,in} = 30\text{ }^\circ\text{C}$, $35\text{ }^\circ\text{C}$, dan $40\text{ }^\circ\text{C}$ $V_{e,in} = 2\text{ m/s}$

		Kondensor : -Kondisi batas : <i>velocity inlet</i> , $T_{e,in} = 24\text{ }^\circ\text{C}$ $V_{e,in} = 2\text{ m/s}$
	Outlet	Evaporator dan Kondensor Kondisi Batas : <i>Pressure-Outlet</i> , $P_{gauge} = 0\text{ Pa}$
Simulasi II	Inlet	Evaporator - Kondisi batas : <i>velocity inlet</i> , $T_{e,in} = 35\text{ }^\circ\text{C}$ $V_{e,in} = 1\text{ m/s}$, 1.5 m/s , 2 m/s Kondensor : Kondisi batas : <i>velocity inlet</i> , $T_{e,in} = 24\text{ }^\circ\text{C}$ $V_{e,in} = 2\text{ m/s}$
	Outlet	Evaporator dan Kondensor Kondisi Batas : <i>Pressure-Outlet</i> , $P_{gauge} = 0\text{ Pa}$

Kinerja Perpindahan Kalor

Efektifitas merupakan parameter yang sangat relevan untuk menggambarkan kinerja HPHE. Efektifitas sensibel dapat digunakan untuk menentukan kinerja thermal dari HPHE. Efektifitas didefinisikan sebagai rasio perpindahan panas aktual dengan perpindahan panas maksimum dalam sebuah *heat exchanger* [3, 8, 11]

$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{maks}} \quad (5)$$

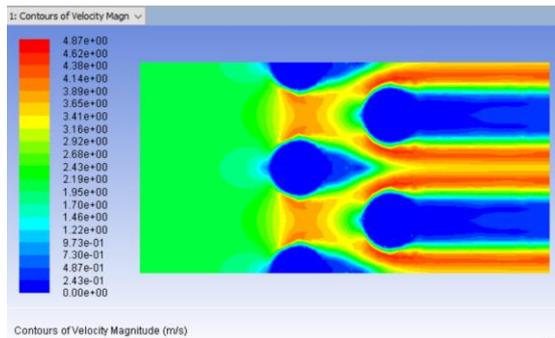
$$\varepsilon = \frac{T_{e,in} - T_{e,out}}{T_{e,in} - T_{c,in}} \quad (6)$$

Dimana :

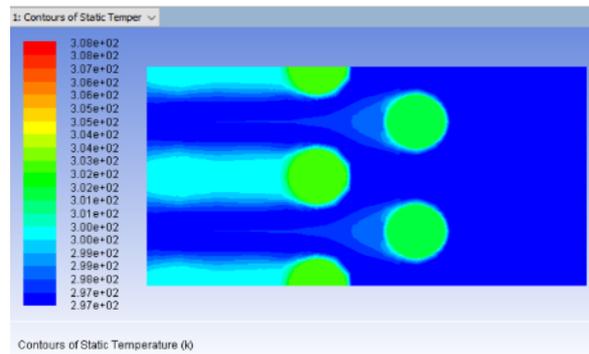
- $T_{e,in}$ = Suhu udara masuk sisi evaporator
- $T_{e,out}$ = Suhu udara keluar dari sisi evaporator
- $T_{c,in}$ = Suhu udara masuk sisi kondensor
- $T_{c,out}$ = Suhu udara keluar dari sisi kondensor

Hasil dan Pembahasan

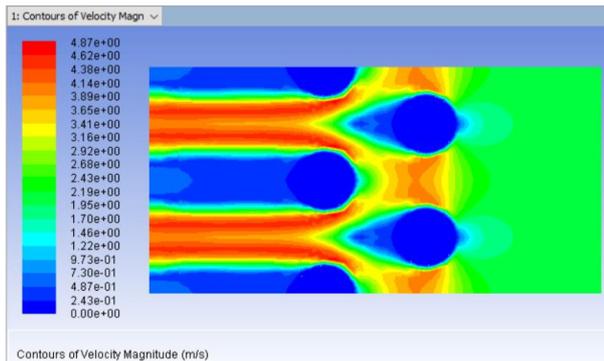
Hasil simulasi CFD pada model HPHE 2 baris *pitch* 20 mm dengan kecepatan udara masuk $V_{e,in}$ 2 m/s dan temperatur pada sisi evaporator $T_{e,in}$ 2 m/s dan $T_{e,in}$ 35°C diperlihatkan pada gambar 4 - 7. Profil kecepatan dalam sisi dan kondensor dari HPHE ditunjukkan pada gambar 4 dan 5. Dari gambar tersebut diperlihatkan bahwa kecepatan yang lebih tinggi terjadi pada daerah yang menyempit diantara dua heat pipe.



Gambar 4. Profil kecepatan HPHE pada sisi evaporator

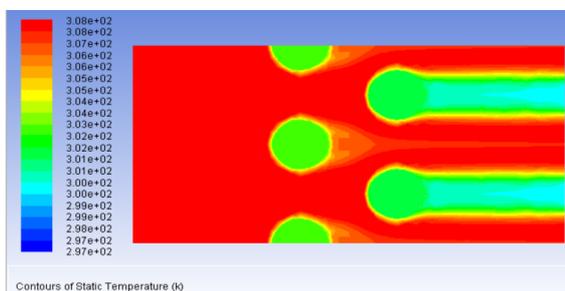


Gambar 7. Profil temperatur HPHE sisi kondensor



Gambar 5. Profil kecepatan HPHE pada sisi kondensor

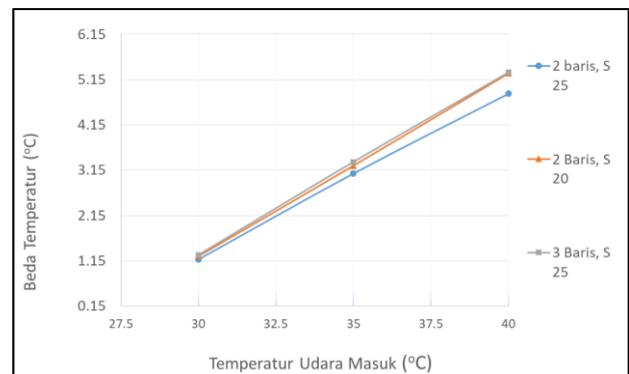
Profil temperatur pada sisi evaporator ditunjukkan pada gambar 6. Udara masuk dari sisi kiri evaporator pada suhu 35 °C (308 K) dan meninggalkan evaporator pada sisi sebelah kanan dengan temperatur rata-rata 31.75 °C (304.75 K). Pada sisi masuk dan sisi keluar terjadi penurunan suhu yang cukup signifikan, sehingga udara yang akan masuk ke koil pendingin telah mengalami pendinginan awal. Pada gambar 7, ditunjukkan profil temperatur pada sisi kondensor. Udara dingin masuk dari sebelah kanan kondensor 24 °C (297 K) dan meninggalkan kondensor pada sisi sebelah kiri dengan suhu 25,44 °C (298.44 K).



Gambar 6. Profil temperatur HPHE sisi evaporator

Profil kontur kecepatan untuk HPHE model 2 baris *pitch* 25 mm, *pitch* 20 mm dan model 3 baris *pitch* 25 mm, dengan variasi temperatur udara masuk sisi evaporator 30 °C, 35 °C dan 40 °C dan variasi kecepatan 1 m/s, 1.5 m/s dan 2 m/s memiliki profil yang serupa seperti ditunjukkan pada gambar 4-5, sedangkan untuk profil temperatur memiliki profil yang serupa seperti ditunjukkan pada gambar 6-7.

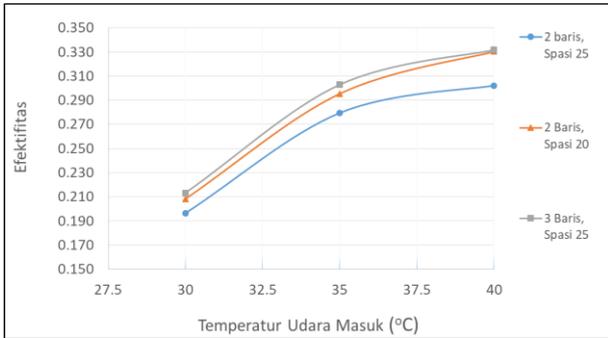
Pengaruh konfigurasi pipa dan temperatur udara masuk terhadap beda temperatur sisi evaporator HPHE ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Temperatur udara masuk vs beda temperatur sisi evaporator heat pipe pada kecepatan udara 2 m/s

Dari hasil simulasi seperti ditunjukkan pada gambar 8, dengan menggunakan kecepatan 2 m/s menunjukkan bahwa pada HPHE 2 baris *pitch* 20 mm dan HPHE 3 baris *pitch* 25 mm menghasilkan beda temperatur yang hampir sama dengan HPHE 3 baris *pitch* 25 mm dan lebih tinggi dibandingkan dengan HPHE 2 baris *pitch* 25 mm.

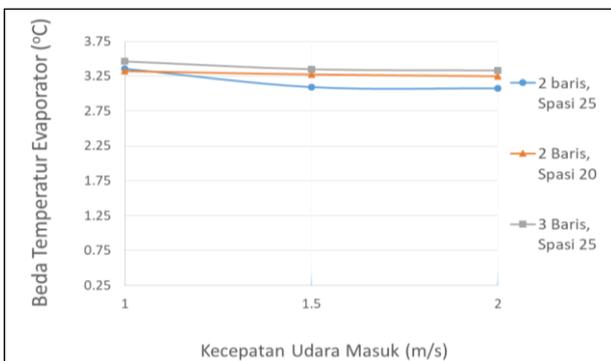
Pengaruh temperatur masuk terhadap efektifitas perpindahan panas pada HPHE model 1, model 2 dan model 3 diperlihatkan pada gambar 9.



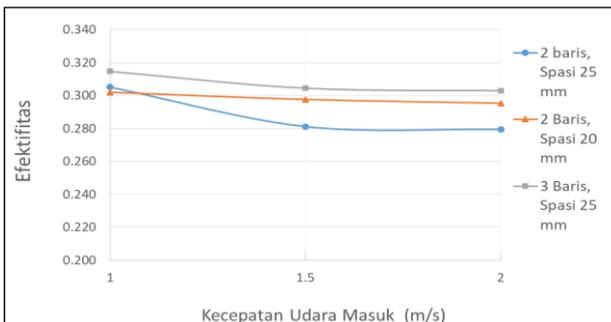
Gambar 9. Profil temperatur udara masuk vs efektifitas thermal HPHE pada kecepatan 2 m/s

Dari gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur udara masuk evaporator, maka beda temperatur pada sisi evaporator dan efektifitas HPHE akan meningkat. Pada kecepatan udara masuk sebesar 2 m/s, beda temperatur dan efektifitas tertinggi terjadi pada HPHE model 3 baris *pitch* 25 pada suhu udara masuk 40 °C, yaitu sebesar 5.31 °C dan 0,332. HPHE 2 baris *pitch* 20 mm (34 pipa) menghasilkan efektifitas thermal 0.33 yang hampir sama dengan HPHE 3 baris *pitch* 25 mm (42 pipa) sebesar 0.332.

Pengaruh kecepatan udara terhadap beda temperatur evaporator dan efektifitas perpindahan panas dimodelkan pada temperatur udara masuk tetap sebesar 35 °C pada HPHE model 2 diperlihatkan pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Pengaruh kecepatan udara masuk terhadap beda temperatur sisi evaporator pada temperatur masuk 35°C



Gambar 11. Pengaruh kecepatan udara masuk terhadap efektifitas HPHE pada temperatur masuk 35°C

Dari gambar 10 dan 11, terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan udara masuk, maka beda temperatur dan efektifitas HPHE akan semakin rendah. Pada temperatur udara masuk 35 °C, beda temperatur dan efektifitas tertinggi terjadi pada HPHE model 3 baris *pitch* 25 mm pada kecepatan 1 m/s, yaitu sebesar 3.46 °C dan 0.315. HPHE 2 baris *pitch* 20 mm (34 pipa) menghasilkan efektifitas thermal 0.302 yang hampir sama dengan HPHE 3 baris *pitch* 25 mm (42 pipa) sebesar 0.315.

Dengan perbedaan jumlah pipa yang signifikan, namun efektifitas thermal yang hampir sama, maka penggunaan *pitch* yang lebih kecil bisa menjadi alternatif dalam perancangan heat exchanger yang lebih efisien dari segi biaya manufaktur dan proses produksi.

Kesimpulan

Dari hasil simulasi *heat pipe heat exchanger* dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Seiring kenaikan suhu udara masuk evaporator, maka beda temperatur pada sisi evaporator dan efektifitas thermal HPHE akan meningkat. Pada kecepatan udara masuk sebesar 2 m/s, beda temperatur dan efektifitas tertinggi terjadi pada HPHE model 3 baris *pitch* 25 pada suhu udara masuk 40 °C, yaitu sebesar 5.31 °C dan 0,332.
- Semakin tinggi kecepatan udara masuk, beda temperatur dan efektifitas HPHE akan semakin rendah. Pada temperatur udara masuk 35 °C, beda temperatur dan efektifitas tertinggi terjadi pada HPHE model 3 baris *pitch* 25 mm pada kecepatan 1 m/s, yaitu sebesar 3,46 °C dan 0,315.
- HPHE 3 baris *pitch* 25 mm menghasilkan beda temperatur dan efektifitas perpindahan panas yang lebih besar dibandingkan HPHE 2 baris dengan jarak antar pipa yang sama. Namun HPHE 2 baris *pitch* 20 mm, menghasilkan efektifitas yang hampir sama dengan HPHE 3 baris *pitch* 25 mm.
- Dengan perbedaan jumlah pipa yang signifikan, dan efektifitas perpindahan panas yang hampir sama, maka penggunaan *pitch* yang lebih kecil bisa menjadi alternatif dalam perancangan *heat exchanger* yang lebih efisien.

Penghargaan

Para Penulis mengucapkan terima kasih kepada KemeristekDikti atas dukungan finansial pada penelitian ini melalui Hibah PPUPT 2018.

Referensi

- [1]. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012, Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta Vol. 2 Sistem Pengkondisian Udara & Ventilasi.
- [2]. BP Statistical Review of World Energy, June 2017
- [3]. Nandy Putra, Trisno Anggoro, Adi Winarta, 2017, Experimental Study of Heat Pipe Heat Exchanger in Hospital HVAC System for Energy Conservation, International Journal on Advanced Science Engineering Information Thechnology, Vol.7 No.3
- [4]. Vahid Vakiloroya, et al, 2014, A review of different strategies for HVAC energy saving, Energy Conversion and Management Journal, 77 , 738–754.
- [5]. W. Srimuang, P. Amatachaya, 2012, A review of the applications of heat pipe heat exchangers for heat recovery, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 4303– 4315
- [6]. S.H. Noie-Baghban, G.R. Majideian, 2000, Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals, Applied Thermal Engineering 20, 1271-1282
- [7]. Hussam Jouhara, Hasnain Merchant, 2012, Experimental investigation of a thermosyphon based heat exchanger used in energy efficient air handling units, Energy, Volume 39, Issue 1, 82-89
- [8]. Tushar S. Jadhav, Mandar M. Lele, 2014, A Case Study On Energy Savings In Air Conditioning System By Heat Recovery Using Heat Pipe Heat Exchanger, International Journal of Research in Engineering and Technology
- [9]. Syahrul Muhammadiyah, Adi Winarta, Nandy Putra, 2018, Kajian Eksperimental Heat Pipe Heat Exchanger Multi Fin Untuk Heat Recovery Pada Sistem Tata Udara Ruang Operasi, International Journal of Technology 2, 422-429
- [10]. Joao Ramos , et al, 2016, Experimental and numerical investigation of a cross flow air-to-water heat pipe-based heat exchanger used in waste heat recovery, International Journal of Heat and Mass Transfer 102, 1267–1281
- [11]. T.S. Jadhav a, M.M. Lele, 2015, Theoretical energy saving analysis of air conditioning system using heat pipe heat exchanger for Indian climatic zones, Engineering Science and Technology, an International Journal 18, 669-673
- [12]. Vahid Vakiloroya, et al, 2014, A review of different strategies for HVAC energy saving, Energy Conversion and Management Journal, 77 , 738–754.
- [13]. I Wayan Sugita dan Abdurrachim, 2013, Analisa Perbandingan Perpindahan Panas Pipa Kalor Dengan Pipa Pejal Pada Sudut Kemiringan 90°, Prosiding Seminar Nasional Mesin Dan Teknologi Kejuruan (SNMTK)
- [14]. Ye Yuana, et al, 2014, Investigation of a heat pipe heat exchanger integrated with a water spray for the heat recovery from boil exhaust gas, The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014, Energy Procedia 61, 2141 – 2144
- [15]. George Meyer, 2016, Heat Pipes & Vapor Chambers Design Guidelines, Therma Life, diakses dari <http://semi-therm.org>, 2 februari 2018
- [16]. Nandy Putra dan Wayan Nata Septiadi, 2014, Teori Pipa Kalor : Teori, Desain, dan Aplikasi, UI Press.
- [17]. D.A. Reay, P.A. Kew, 2006, Heat Pipes : Theory, Design, and Application, fifth edition, Applied Thermal Engineering, Elsevier Science
- [18]. P Dunn, D.A. Reay, 1982, Heat Pipes third Edition, Pergamon Press Ltd, England
- [19]. S.W.Chi, 1976, Heat Pipe Theory and Practice, Series in Thermal and Fluids Engineering, McGraw-Hill Book Company
- [20]. T. Kuppan, 2000, Heat Exchanger Design Handbook, Marceid, Dekker Inc, Basel, Switzerland
- [21]. Nurul Amira Zainal, et al, 2017, Numerical Simulation of Different Models of Heat Pipe Heat Exchanger Using AcuSolve, MATEC Web of Conferences 97