

RANCANG BANGUN ALAT PENUKAR KALOR *THERMOSYPHON* UNTUK PENDINGINAN DENGAN MODUL TERMOELEKTRIK

I Dewa Gede Agus Tri Putra, I Dewa Made Susila, dan I Wayan Adi Subagia

Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O Box 1064 Tuban, Badung-Bali Tlp.(0361)701981
e-mail : susila.idewamade59@gmail.com

Abstrak: Aplikasi pendinginan dengan modul termoelektrik untuk AC di daerah tropis seperti Indonesia masih cukup menjanjikan. Tingkat kenyamanan untuk orang Indonesia masih berada pada kisaran kondisi udara dalam ruangan dan bisa dikatakan tidak membutuhkan rentang penurunan temperatur yang cukup besar. Untuk optimasi perpindahan panas modul termoelektrik pada sisi dinginnya perlu dirancang sebuah penukar kalor yang sesuai dengan desain dari modul termoelektrik yang akan digunakan. Metode yang digunakan dalam melakukan kajian desain alat penukar kalor ini, menggunakan metode simulasi CFD. *Solidwork flow simulation* adalah *software* yang dipakai dalam melakukan kajian thermal pada desain dan mensimulasikan data numerik yang menjadi input dalam pendekatan kondisi operasional alat penukar kalor. Setelah proses rancang bangun alat penukar kalor maka desain rancangan tersebut memiliki luas bidang perpindahan kalor 25687,4 mm², jumlah pipa penukar kalor 68 buah dengan panjang 40 mm. Perpindahan panas maksimum alat penukar kalor adalah 0,0093 kJ/detik.

Kata kunci: Penukar kalor, *thermosyphon*, *Computational Flow Dynamics* (CFD)

THERMOSYPHON HEAT EXCHANGER DESIGN FOR COOLING WITH THERMOELECTRIC MODULES

Abstract: Cooling application with thermoelectric module for air conditioning in tropical areas like Indonesia is still promising. The level of human comfort for Indonesian people is still in the range of indoor air condition and does not need a significant temperature drop. In order to optimize heat transfer on thermoelectric module in the cold side, heat exchanger should be designed in accordance with design of thermoelectric module that will be used. The method used in analyzing the exchanger design is CFD simulation. *Solidwork flow simulation* is a software used to analyze thermal on the design and to simulate numerical data as input in the approach of heat exchanger operation conditions. Upon the device design process, it was obtained that the device field width of heat transfer is 25687.4 mm², the number of heat exchanger tube is 68 pieces, and the length of the tube is 40 mm. The maximum heat transfer of the heat exchanger is 0.0093 kJ/second.

Keyword: heat exchanger, *thermosyphon*, *Computational Flow Dynamics* (CFD)

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan modul termoelektrik di berbagai aplikasi dan peralatan saat ini sudah berkembang cukup pesat. Kemudahan dalam aplikasi dan bersifat ramah lingkungan menyebabkan perkembangannya. Di lain sisi, perkembangan material semikonduktor sampai batas teknologi nano juga menambah performansi dari modul termoelektrik. Modul termoelektrik dalam aplikasinya harus dilengkapi dengan dua alat penukar kalor untuk sisi panas dan dingin dari modul ini. Fluida kerja dari penukar kalor tersebut akan disesuaikan dengan fungsi dari peralatan ini.

Aplikasi pendinginan dengan modul termoelektrik untuk AC di daerah tropis seperti Indonesia masih cukup menjanjikan. Tingkat

kenyamanan untuk orang Indonesia masih berada pada kisaran kondisi udara dalam ruangan dan bisa dikatakan tidak membutuhkan rentang penurunan temperatur yang cukup besar. Kapasitas pendinginan ruangan juga sangat bergantung pada model termal dari ruangan tersebut. AC berbasis termoelektrik dapat diaplikasikan pada model termal ruangan dengan beban pendinginan yang tidak terlalu besar. Hal ini akan sangat tepat jika diaplikasikan seperti pada kamar-kamar kos yang sudah marak di perkotaan. Dengan biaya produksi yang jauh lebih rendah dari peralatan AC lainnya, dan desain yang jauh lebih kompak, akan memberikan keuntungan secara ekonomi dan estetika bagi pengguna. Menurut S. B Riffat, AC yang berbasis termoelektrik akan memberikan rentang konsumsi daya dari 15 - 560 watts, ini akan lebih rendah dari konsumsi daya AC yang

berbasis siklus kompresi [2]. Dengan memilih beban pendinginan ruangan yang sesuai maka AC yang berbasis termoelektrik akan dapat memberikan kepuasan penggunaanya.

Alat penukar kalor yang difungsikan pada sisi dingin modul termoelektrik untuk AC berbasis termoelektrik, tentunya akan berfungsi untuk mendinginkan ruangan yang dikondisikan. Fluida yang akan didinginkan adalah udara ruangan tersebut. Bahan-bahan yang difungsikan untuk penukar kalor dipilih dari bahan dengan konduktifitas tinggi dan bisa berfungsi untuk jenis fluida tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan menggunakan kajian CFD, untuk merancang bangun alat penukar kalor *thermosyphon*, maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapakah luas bidang perpindahan panas dari alat penukar kalor *thermosyphon* dengan menggunakan modul termoelektrik?
2. Berapakah laju perpindahan kalor dari alat penukar kalor *thermosyphon* dan berapa besar beda temperatur dari udara yang masuk dan keluar?

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini adapun yang menjadi tujuannya adalah untuk mengetahui beberapa hal sebagai berikut;

1. Mendesain sebuah alat penukar kalor yang menggunakan prinsip *thermosyphon* yang akan digunakan pada sisi dingin modul termoelektrik.
2. Mengetahui laju perpindahan kalor dan beda temperatur dari alat penukar kalor *thermosyphon*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Dapat dihasilkan peralatan alat penukar kalor *thermosyphon* yang lebih ramah lingkungan dan bisa digunakan untuk model ruangan dengan beban pendinginan yang tidak terlalu besar dengan memanfaatkan modul termoelektrik.
2. Penggunaan modul termoelektrik akan menyebabkan hilangnya komponen bergerak (*moving part*) seperti pada AC konvensional sehingga tidak dibutuhkan biaya pemeliharaan yang berarti.
3. Mengembangkan AC yang tidak menggunakan fluida kerja yang berdampak terhadap pemanasan global.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Deskripsi Modul Termoelektrik TEC1-12706

Termoelektrik yang digunakan adalah tipe TEC1-12706 berikut adalah unjuk kerja dari modul tersebut;

Tabel 1 Unjuk kerja modul termoelektrik

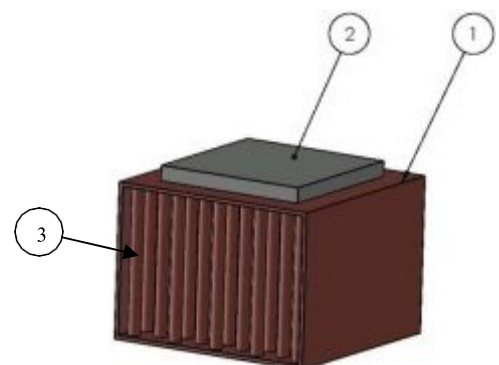
Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
Imax (Amps)	6.4	6.4
Vmax (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30

Termoelektrik ini memiliki korelasi antara selisih temperatur panas dan dingin (ΔT) dan kapasitas kalor yang optimal pada sisi dingin (Q_c) dan juga beda potensial arus listrik yang digunakan adalah sesuai data-data properti modul termoelektrik TEC1-12706.

Modul ini adalah jenis yang paling banyak beredar di pasaran, penggunaannya secara luas biasanya adalah untuk komponen utama dalam sebuah dispenser. Selisih temperatur panas dan dingin yang terjadi adalah

2.2 Simulasi Alat Penukar Kalor dalam Solidwork 2010

Proses pertama dalam simulasi *solidwork* 2010 adalah mendesain secara 3D peralatan yang ingin disimulasikan dalam program ini. Dalam desain pertimbangan-pertimbangan yang dipakai adalah pertimbangan dimensi dalam penggunaannya pada sistem yang akan dibangun. Faktor-faktor secara teknis dalam rancangan utamanya model termal peralatan dikaji berdasarkan hasil simulasi numerik oleh program *solidwork* 2010. CFD bisa digunakan untuk kasus kajian awal dalam sebuah rancang bangun desain termal dan analisis aliran fluida lainnya dalam perencanaan desain.



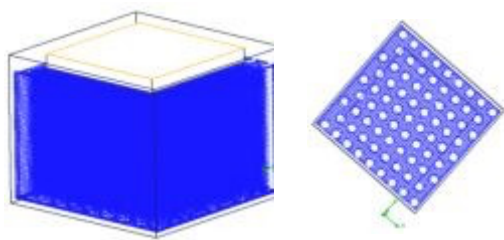
Gambar 1 Desain alat penukar kalor

- Keterangan :
1. Penukar kalor
 2. Modul termoelektrik
 3. Pipa penukar kalor

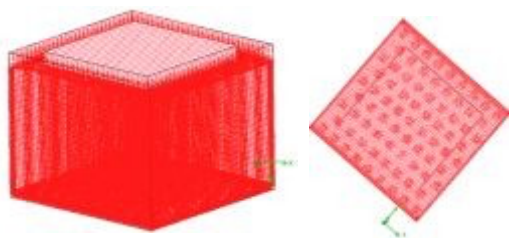
Beberapa tahapan dalam simulasi ini adalah *pre-processing*, *solver* dan *post-processing*. Dalam proses awal (*pre-processing*) maka harus didesain secara 3 dimensi alat penukar kalor yang akan digunakan (gambar). Selanjutnya dalam tahapan *pre-processing* akan meliputi kegiatan-kegiatan input data sebagai berikut:

1. Penentuan domain komputasi sesuai dengan desain 3 dimensi alat penukar kalor yang telah dibuat.
2. Memberikan *input* data fluida kerja yang digunakan. Dalam hal ini fluida kerja yang digunakan adalah udara.
3. Material yang digunakan juga didefinisikan, dalam hal ini semua material adalah tembaga.
4. Modul termoelektrik yang digunakan dalam simulasi juga merupakan *database* yang sudah di *build-up* oleh vendor *solidworks*. Data *engineering* pada *solidwork* memiliki beberapa jenis termoelektrik yang dibedakan berdasarkan parameter arus listrik. Arus listrik yang digunakan pada simulasi ini adalah 2 ampere untuk menyesuaikan dengan kondisi unjuk kerja termoelektrik TEC 12076 yang digunakan.
5. Untuk aliran internal udara digunakan sebuah *fan* yang mempunyai tipe *papst 412* dimana mempunyai laju aliran massa $0,00188522 \text{ m}^3/\text{s}$ pada beda tekanan 10 Pa.

Tahapan selanjutnya adalah *solver* atau proses kalkulasi yang akan dilakukan oleh komputer. Dalam proses *solver* ini ada 2 bagian lagi, yaitu *meshing* dan *running solver*.



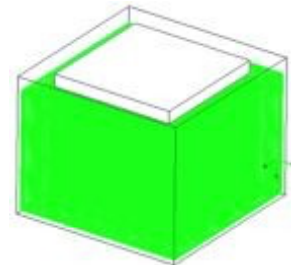
Gambar 2 Grid untuk analisis aliran fluida.



Gambar 3 Grid untuk analisis material solid

Meshing adalah proses pembentukan *grid* komputasi dimana komputer akan membagi desain menjadi *grid-grid* yang lebih kecil, untuk proses langkah prediksi dalam setiap perhitungan.

Untuk perhitungan konduktifitas thermal material solid maka komputer akan mendesain *meshing* atau *grid* komputasi untuk material solid seperti pada gambar 4.

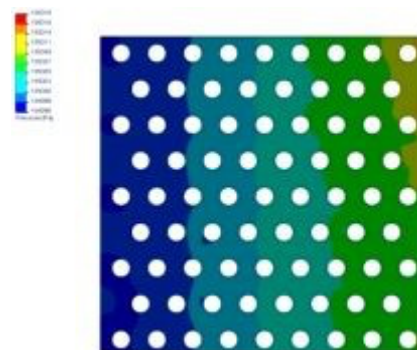


Gambar 4 Meshing partial

Grid komputasi dalam *meshing partial* adalah untuk menghitung ruangan yang menjadi domain komputasi. Jumlah *grid* komputasi untuk aliran fluida adalah 77366, untuk *grid* komputasi pada bagian *solid* adalah 15070, sedangkan pada bagian partial dihasilkan 85869. Optimasi *mesh* diberikan untuk daerah sudut dan celah terkecil yang dilalui fluida kerja. Dengan menggunakan *solidwork 2010* proses *meshing* akan dilakukan dengan menggunakan *flow simulation* berdasarkan desain 3D yang dibuat. Proses komputasi atau *solver* akan dilakukan berdasarkan *meshing* yang telah dibuat dan iterasi dilakukan pada *grid* komputasi tersebut.

2.3 Analisis Hasil Simulasi CFD

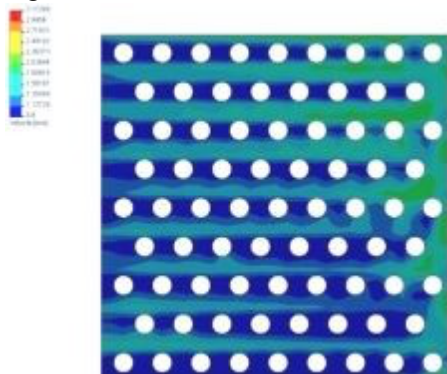
Perubahan tekanan aliran yang terjadi karena pengaruh konfigurasi pipa kapiler dapat dilihat profil alirannya pada gambar 5. Dari inlet tekanan aliran fluida mengalami penurunan sampai uniform pada baris ketiga akhir konfigurasi pipa.



Gambar 2 Profil tekanan udara pada permukaan atas penukar kalor.

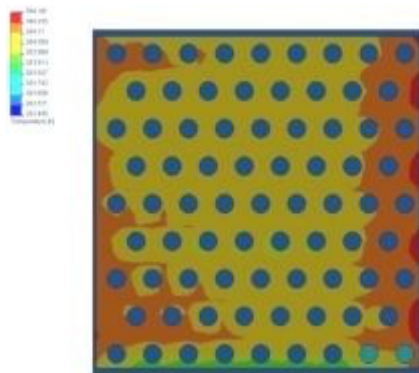
Dari sini dapat disimpulkan bahwa 3 konfigurasi pipa terakhir dapat dihilangkan, akan tetapi perbedaan karakter jenis *input* dalam simulasi tidak bisa diprediksi pada kondisi

eksperimen. Selain itu aspek estetika dalam desain untuk simetris dengan modul termoelektrik yang digunakan menyebabkan perencanaan konfigurasi pipa digunakan dalam desain.



Gambar 63 Profil aliran udara pada permukaan atas penukar kalor.

Pada gambar 6 perubahan lapisan batas aliran dapat diamati dan juga pengaruh inlet fan. Pada setiap pipa dapat terbentuk lapisan batas turbulen namun hal ini belum merata pada semua permukaan pipa. Walaupun memang akan susah mendapatkan kondisi dimana lapisan batas turbulen pada seluruh permukaan pipa karena arah aliran yang sejajar dengan deret pipa, perlu kiranya diujikan kembali menggunakan aliran yang lebih tinggi, atau menambahkan sirip pada konfigurasi pipa tersebut.



Gambar 7 Profil temperatur pada permukaan atas penukar kalor.

Pengaruh termoelektrik pada profil temperatur pada plat bagian atas penukar kalor menyebabkan temperatur pada bagian dalam plat memiliki temperatur yang lebih rendah.

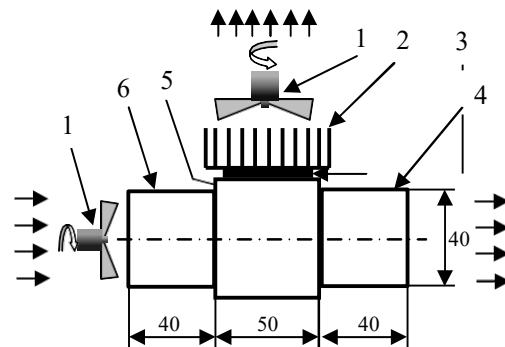
Dari tiga hasil simulasi CFD tersebut akan ditarik kesimpulan bahwa alat penukar kalor yang dirancang akan tetap menggunakan desain rencana yang telah disimulasikan, dimana memiliki luas bidang perpindahan kalor 25687,4 mm², jumlah pipa penukar kalor 68 buah dengan panjang 40 mm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

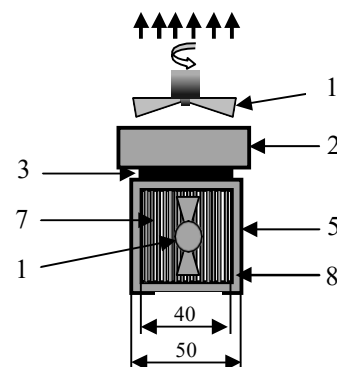
3.1 Pembuatan Alat Penukar Kalor

Untuk memvalidasi hasil simulasi yang dibuat maka proses eksperimen harus dilakukan. Dari gambar yang telah disimulasikan akan dibuat sebuah peralatan yang memenuhi aspek-aspek teknis dalam rancangan. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan untuk merancang alat penukar kalor, yaitu:

1. Peralatan yang digunakan
 - a. Tang potong, Tang, Kikir, gerinda, gunting plat, dsb
 - b. Alat las dan kelengkapannya.
2. Material yang digunakan
 - a. Plat tembaga
 - b. Pipa tembaga



a) Pandangan depan



b) Pandangan samping kiri

Gambar 8 Gambar rancangan alat penukar kalor *thermosyphon*

Keterangan gambar :

1. Kipas udara mini DC
2. Sirip pendingin dari aluminium
3. Modul termoelektrik TEC1-12706
4. Saluran udara keluar
5. Alat penukar kalor thermosyphon
6. Saluran udara masuk
7. Pipa alat penukar kalor thermosyphon
8. Ruang fluida R-134a

3.2 Pengujian Alat Penukar Kalor

Pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui perbedaan temperatur udara masuk dan keluar dan laju perpindahan kalor dari alat penukar kalor *thermosyphon* dengan menggunakan modul termoelektrik. Data yang diukur dari pengujian ini adalah kecepatan aliran udara yang akan didinginkan dengan menggunakan alat ukur Anemometer, temperatur udara masuk dan keluar dengan menggunakan thermokopel tipe K yang dihubungkan dengan *disply* thermometer.

Pengujian dilakukan selama 1 jam dengan interval waktu 5 menit. Setiap interval waktu dilakukan pengambilan data sebanyak lima kali pada hari yang berbeda tetapi dengan kondisi yang sama.



Gambar 9 Pengujian alat penukar kalor *thermosyphon*

Adapun data rata-rata hasil pengujian ditabelkan seperti di bawah ini:

Tabel 2 Data rata-rata hasil pengujian

No	Waktu (menit)	Temp. udara masuk, T_{in} (°C)	Temp. udara keluar, T_{out} (°C)
1	5	28,56	26,88
2	10	28,44	25,64
3	15	28,48	25
4	20	28,4	25,38
5	25	28,5	24,36
6	30	28,5	24,4
7	35	28,42	24,32
8	40	28,44	24,32
9	45	28,32	24,24
10	50	28,46	24,32
11	55	28,44	24,26
12	60	28,64	24,56

3.3 Perhitungan Laju Perpindahan Kalor

Untuk menganalisis data dari hasil pengujian pada tabel 2, maka kelima data dari masing-masing interval waktu tersebut, dirata-ratakan terlebih dahulu. Data rata-rata inilah kemudian dihitung perbedaannya dan laju perpindahan kalornya. Untuk menghitung laju perpindahan kalornya, dapat digunakan rumusan seperti di bawah ini:

$$Q = (\rho A v) c_p (T_{in} - T_{out}) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana;

Q = Kalor yang diserap (kJ/detik)
 ρ = massa jenis udara (kg/m³)
 A = luas penampang aliran (m²)
 v = Kecepatan aliran udara (m/detik)
 c_p = Panas spesifik udara (kJ/kg.C)
 T_{in} = Temperatur udara masuk (C)
 T_{out} = Temperatur udara keluar (C)

Sebagai contoh untuk menentukan beda temperatur (ΔT) dan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor *thermosyphon* digunakan data rata-rata pada 5 menit pertama.

Pada 5 menit awal pengukuran, data-data yang didapat adalah:

Temperatur udara masuk (T_{in}) : 28,56°C

Temperatur udara keluar (T_{out}) : 26,88°C

Kecepatan aliran udara (v) : 1,18 m/detik

Dari data di atas, maka dapat ditentukan sifat-sifat udara pada temperatur 28,56°C (tabel A.4 Incropera, 1990) yaitu :

Panas spesifik udara (c_p) : 1,005 kJ/kg C

Massa jenis udara (ρ) : 1,1714 kg/m³

Sedangkan luas penampang aliran udara:

$$A = (40 \times 40) \text{ mm}^2 \\ = 16000 \text{ mm}^2 = 0,0166 \text{ m}^2$$

Maka dengan menggunakan rumusan 1 dapat dihitung besarnya laju perpindahan kalor yaitu:

$$Q = (1,1714 \text{ kg/m}^3) \times (0,0166 \text{ m}^2) \times \\ (1,18 \text{ m/dt}) \times 1,005 \text{ kJ/kg C} \times \\ (28,56 - 26,88) ^\circ\text{C} \\ = 0,0037 \text{ kJ/dt.}$$

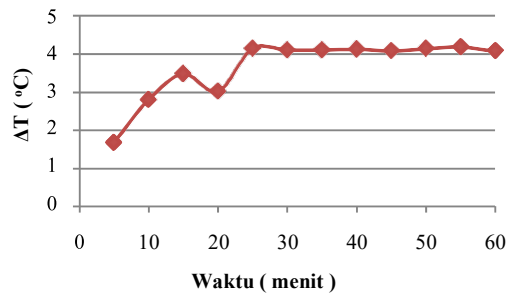
Selanjutnya perhitungan laju perpindahan kalor untuk data yang lainnya ditabelkan seperti di bawah ini :

Tabel 3 Tabel hasil perhitungan laju perpindahan kalor

Waktu (menit)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	ΔT (°C)	Q (kJ/detik)
5	28,56	26,88	1,68	0,0037
10	28,44	25,64	2,8	0,0062
15	28,48	25	3,48	0,0077
20	28,4	25,38	3,02	0,0067
25	28,5	24,36	4,14	0,0092
30	28,5	24,4	4,1	0,0091
35	28,42	24,32	4,1	0,0091
40	28,44	24,32	4,12	0,0092
45	28,32	24,24	4,08	0,0091
50	28,46	24,32	4,14	0,0092
55	28,44	24,26	4,18	0,0093
60	28,64	24,56	4,08	0,0091

3.4 Hubungan Waktu dan Beda Temperatur Udara pada Alat Penukar Kalor *Thermosyphon*

Untuk mengetahui hubungan antara waktu pengujian dengan beda temperatur dan laju perpindahan kalornya, maka dibuatkan grafik seperti di bawah ini:

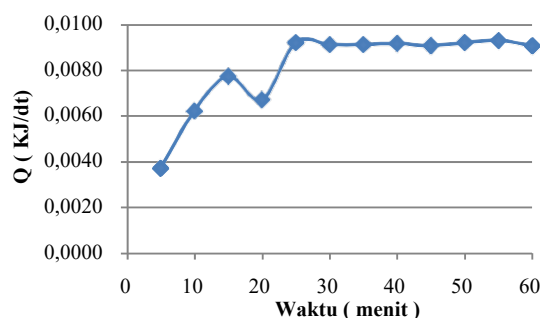


Gambar 10 Grafik hubungan waktu dengan beda temperatur

Dari grafik pada gambar 10 dapat dijelaskan bahwa pada waktu 5 menit sampai 25 menit terjadi kecenderungan peningkatan beda temperatur secara linier, sedangkan dari 25 menit sampai pada 60 menit, beda temperatur antara udara masuk dan udara keluar terlihat konstan. Ini berarti bahwa pada 25 menit sampai 60 menit, laju perpindahan kalor yang terjadi antara udara dengan fluida pada *thermosyphon* relatif konstan.

3.5 Hubungan Waktu dan Laju Perpindahan Kalor pada Alat Penukar Kalor *Thermosyphon*

Sedangkan pada gambar 11, menunjukkan grafik hubungan antara waktu dengan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor *thermosyphon*. Pada grafik tersebut terlihat bahwa polanya sama dengan pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 10. Laju perpindahan kalor dari udara ke fluida pada *thermosyphon* mengalami peningkatan secara linear dari menit ke 5 sampai dengan menit ke-25. Dari menit ke 25 sampai menit ke-60, laju perpindahan kalornya relatif konstan. Hal ini disebabkan oleh tidak terjadi perubahan temperatur antara temperatur udara masuk dan temperatur udara keluar. Laju perpindahan kalor terbesar dicapai pada menit ke 55 yaitu 0,0093 kJ/detik.



Gambar 11 Grafik hubungan waktu dengan laju perpindahan kalor

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari kajian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Luas bidang perpindahan kalor 25687,4 mm², jumlah pipa penukar kalor 68 buah dengan panjang masing-masing 40 mm.
2. Perpindahan kalor maksimum alat penukar kalor adalah 0,0093 kJ/detik pada menit ke-55, sedangkan beda temperatur terbesar adalah 4,18°C dicapai pada menit ke-25.
3. Kajian CFD digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan pemodelan dari alat penukar kalor *thermosyphon*.

4.2 Saran

1. Dalam mendesain sebuah penukar kalor maka pertimbangan teknik manufakturnya perlu dipertimbangkan secara mendalam agar didapatkan hasil yang sesuai dengan rancangan.
2. Data yang digunakan pada saat membuat simulasi dengan program CFD hendaknya mendekati kondisi riil.
3. Susunan pipa penukar kalor yang dibuat dengan susunan *staggered* hendaknya dianalisis dengan rumusan-rumusan yang ada sehingga didapatkan pertukaran kalor yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Guoquan Qiu dan S.B. Riffat, "Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air-conditioners," *Applied Thermal Engineering*, vol. 4, pp. 1979–1993, 2004.
- [2] S S Verma, "Eco-Friendly Alternative Refrigeration Systems," 2009.
- [3] W.F jones dan J.W. Stoecker, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, II ed., Ir.Supratman Hara, Ed. Jakarta: Erlangga, 1989.
- [4] N.C. STRUPP, dkk, "Modeling a Thermoelectric HVAC System for Automobiles," *Electronic Materials*, vol. 38, 2009.
- [5] N.Y.A. Shammass, dkk, "Thermoelectric cooling of microelectronic circuits and waste heat electrical power generation in a desktop personal computer," *Materials Science and Engineering*, vol. 174, no. 4, pp. 316-325,

2011.

- [6] C.J. Chin, dkk, "A design method of thermoelectric cooler," *International Journal of Refrigeration*, vol. 23, no. 3, pp. 208-218, 2000.
- [7] Y.F. Maydanik, "Loop Heat Pipe," *Application Thermal Engineering*, vol. 25, pp. 635–657, 2005.
- [8] M. Ahmad dkk, "A review on the application of horizontal heat pipe heat exchangers in air conditioning systems in the tropics," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 77–84, 2010.
- [9] Melcor. (2008) www.melcor.com.
- [10] Julian Goldsmid, *Introduction to Thermoelectricity*.: Springer, 2009.
- [11] S.A. Omer, dkk, "A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experimental investigation ," *Renewable Energy*, vol. 23, no. 2, pp. 313-323, 2001.
- [12] W. TIPSAENPROM dkk "Thermal Comfort Study of a Compact Thermoelectric Air Conditioner," *Electronic Materials*, vol. 39, pp. 1659-1664, 2010.
- [13] Shu-Yu Huang dkk "A three-dimensional theoretical model for predicting transient thermal behavior of thermoelectric coolers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 53, pp. 2001–2011, 2010.
- [14] HK. Versteeg, *Computational fluid dynamics*. london: Pearson Education Limited, 2007.