

ANALISIS AWAL PERPINDAHAN PANAS DINDING TROMBE BERALUR

PRELIMINARY ANALYSIS OF GROOVED TROMBE WALL HEAT TRANSFER

Muhammad Rizali*

Teknik Industri, Universitas Sari Mulia, Banjarmasin, Indonesia

*Corresponding author: mechanicalpress@gmail.com

Abstract. One of solar thermal utilization is Trombe wall, which created different air density. Air density differential caused heater/ventilation effect to the room. A flat surface Trombe wall usually utilized, the air flow only occurred by the air density differentials, which caused slow air circulation. In order to optimize heat transfer and air flow in Trombe wall system, grooved Trombe wall surface suggested. The experiment done with two north façade Trombe wall systems, one with flat surface, and another with trapezium grooved surface. Inlet, outlet, and Trombe surface temperature collected. The data collected from 07.55 am until 17.25 pm, with 10 minutes interval, using LM35 data acquisition system. The result, grooved Trombe wall has higher inlet, outlet, and surface temperature. Grooved Trombe wall system has 53% inlet temperature is higher than outlet, which showed faster convection heat transfer. Nusselt number analysis showed that grooved Trombe wall has relatively lower Nusselt number.

Keywords: solar energy, Trombe wall, grooved, heat transfer

Abstrak. Dinding trombe adalah salah satu metode pemanfaatan termal dari energi matahari untuk menciptakan perbedaan densitas udara di suatu ruangan, sehingga menciptakan efek pemanasan/ventilasi pada ruangan tersebut. Dinding Trombe biasanya mempunyai permukaan rata, akibat yang terjadi adalah proses aliran udara konveksi hanya terjadi karena perbedaan densitas udara, sehingga udara panas lebih lambat bersirkulasi. Untuk lebih mengoptimalkan proses perpindahan panas dan aliran udara di dalam sistem dinding Trombe, pada penelitian ini diusulkan penggunaan dinding Trombe beralur. Penelitian dilakukan dengan eksperimen menggunakan dua buah sistem dinding Trombe yang dihadapkan ke arah utara untuk dibandingkan, trombe dengan permukaan datar, dan beralur berbentuk trapesium. Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit dari jam 07.55 sampai jam 17.25, dibantu dengan sistem akuisisi data sensor LM35. Temperatur yang diukur untuk kedua sistem Trombe, adalah temperatur udara masuk (inlet), temperatur udara keluar (outlet), dan temperatur permukaan Trombe. Hasil yang didapat adalah temperatur udara masuk dan keluar pada sistem Trombe beralur mempunyai temperatur yang lebih tinggi daripada yang datar. Pada sistem Trombe beralur didapatkan bahwa 53% temperatur inlet lebih tinggi daripada outlet, menandakan adanya perpindahan panas konveksi yang lebih cepat. Angka Nusselt sistem dinding Trombe beralur mempunyai angka yang lebih rendah.

Kata kunci: dinding trombe, energi matahari, alur, perpindahan panas

1. PENDAHULUAN

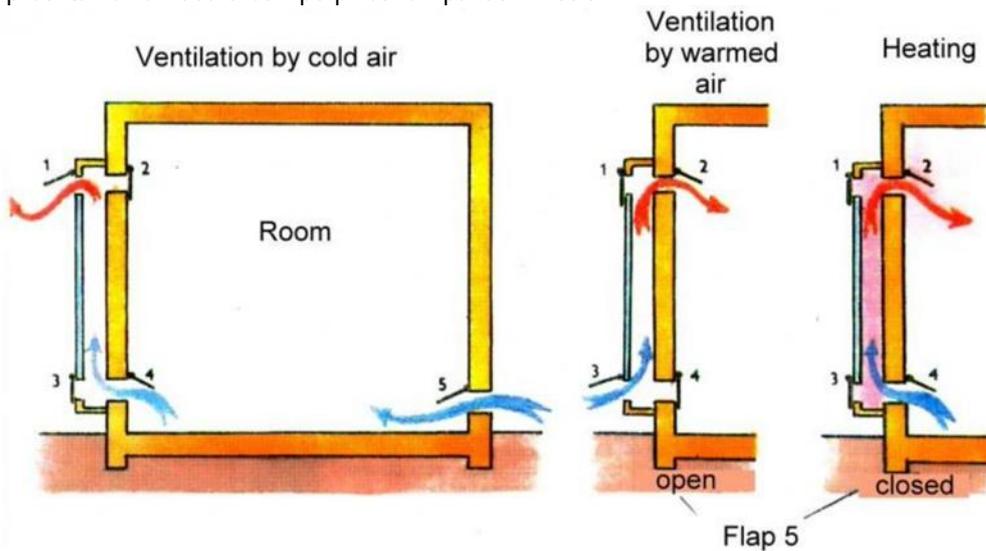
Sistem dinding trombe merupakan salah satu pemanfaatan energi termal matahari untuk pengkondisian udara di suatu ruangan, bisa berupa sistem pemanas, atau pun sistem ventilasi/pendingin udara. Pada sistem pemanas, radiasi matahari memanaskan dinding (yang berfungsi sebagai penyimpan panas, dan biasanya di cat warna hitam), kemudian udara yang mengalami perpindahan panas dari dinding tersebut disirkulasikan ke dalam ruangan yang perlu dipanaskan. Pada sistem dinding trombe yang digunakan untuk ventilasi/pendingin udara, permukaan dinding yang bertemperatur tinggi, memanaskan udara di sekitarnya, sehingga terjadi

perbedaan densitas udara dengan yang bertemperatur lebih rendah. Udara panas yang mempunyai densitas rendah dikeluarkan ke suatu jendela, dan akan menarik udara dingin masuk ke dalam ruangan untuk mengisi kekosongan sebab udara panas yang keluar dari jendela/ventilasi. Mekanisme kerja dinding trombe dapat dilihat pada gambar 1.

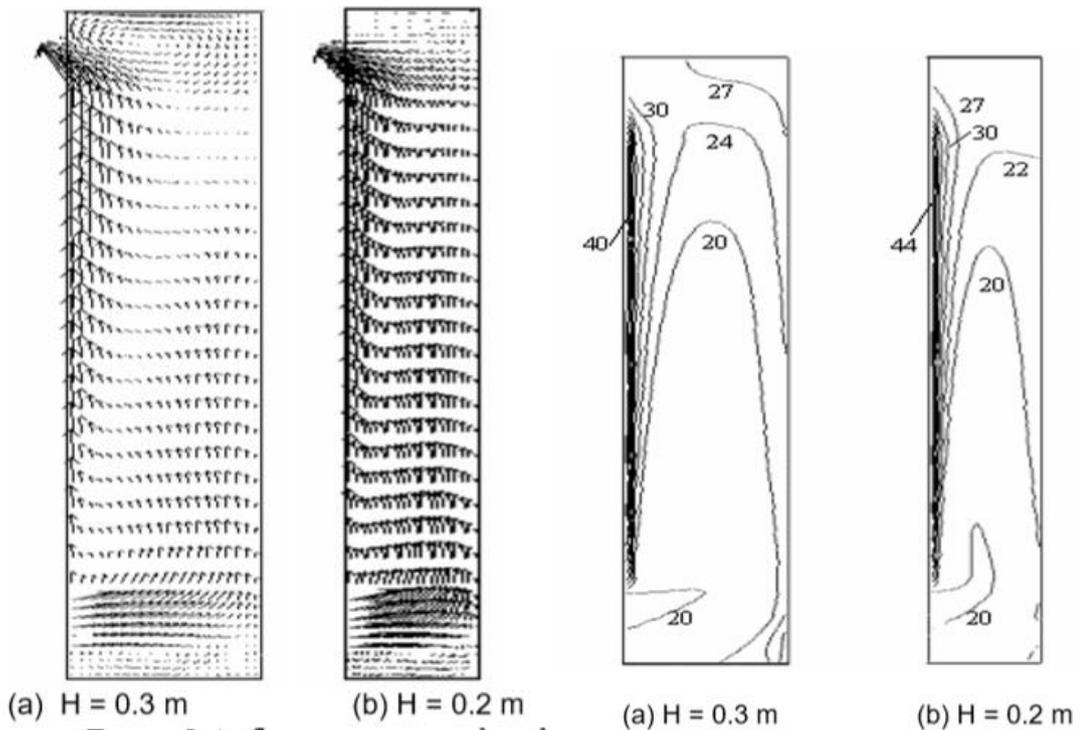
Li *et al.* (2007) telah melakukan penelitian tentang karakteristik pergerakan udara di dalam sistem dinding yang dipanaskan dengan matahari, secara matematis dan eksperimental. Hasil penelitiannya adalah selisih antara model matematis dengan eksperimental berkisar antara 3-5%, dengan distribusi temperature dan kecepatan udara

ditampilkan pada gambar 2. Faktor yang berpengaruh terhadap bentuk aliran udara dan perpindahan panas

adalah panas yang dihasilkan dari matahari, dan lebar celah.



Gambar 1. Mekanisme kerja dinding Trombe



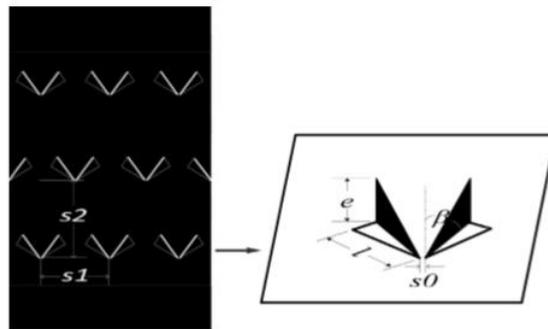
Gambar 2. Distribusi aliran udara hasil penelitian (Li et al., 2007)

Zhou and Pang (2015) melakukan penelitian tentang penggunaan material berubah fase $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ berbentuk delta sebagai pembentuk vortex, untuk meningkatkan perpindahan panas konveksi di celah udara. Hasil yang didapat, penggunaan pembentuk vortex berbentuk delta, tingkat aliran udara meningkat 28,5% dan perpindahan panas meningkat

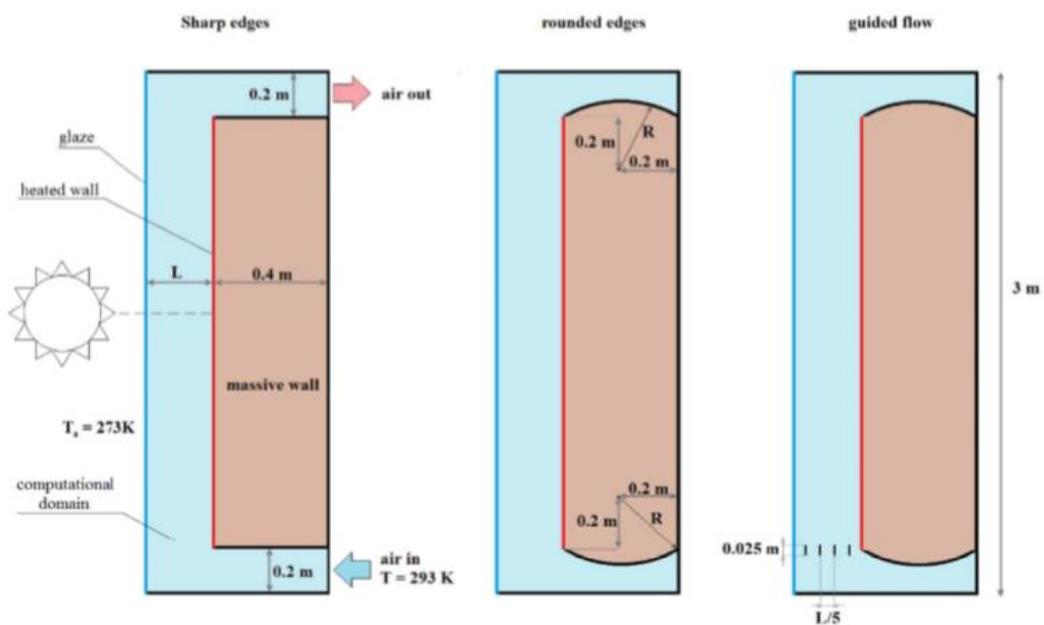
39,4%. Bentuk pembentuk vortex dapat dilihat pada gambar 3.

Corasaniti et al. (2017) melakukan penelitian tentang analisis numerik, energi dan exergy pada dinding trombe yang dimodifikasi. Instalasi penelitian dari Corasantini, et al. dapat dilihat pada gambar 4. Hasil yang didapatkan adalah dinding trombe dengan pengarah aliran (guide flow) mempunyai efisiensi

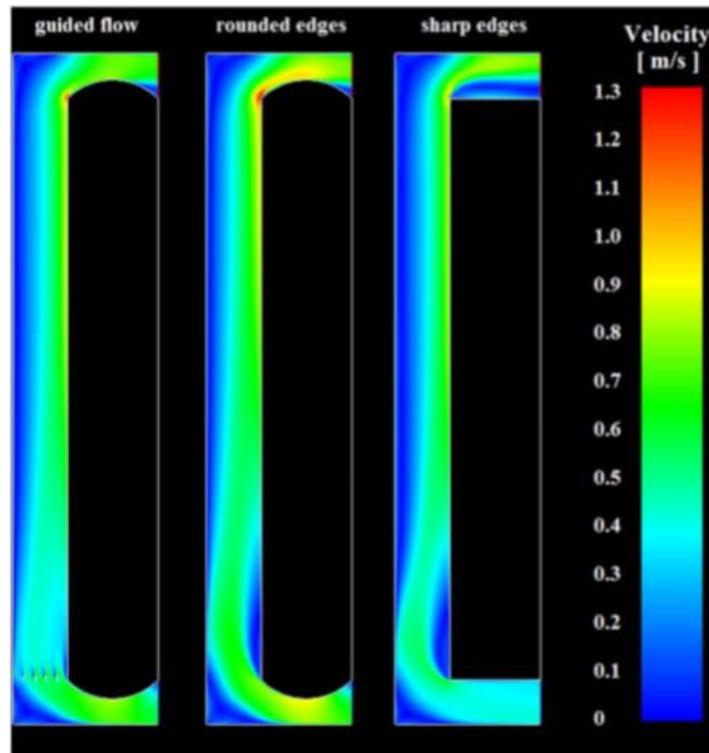
energi dan exergy tertinggi. Bentuk profil kecepatan aliran dari ketiga variabel penelitian Corasantini dapat dilihat pada gambar 5.



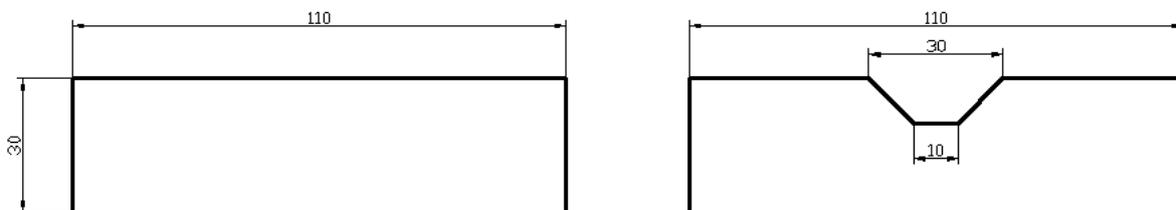
Gambar 3. Pembentuk vortex dari penelitian (Zhou and Pang, 2015)



Gambar 4. Modifikasi dinding Trombe dari penelitian (Corasaniti *et al.*, 2017)



Gambar 5. Profil kecepatan aliran pada dinding Trombe yang dimodifikasi dari penelitian (Corasaniti *et al.*, 2017)



Gambar 6. Penampang melintang percobaan dinding Trombe (satuan mm)

Burek and Habeb (2007) melakukan penelitian tentang aliran udara dan efisiensi termal untuk menara matahari (solar chimney) dan dinding Trombe. Hasil yang didapat adalah laju aliran massa tergantung pada masukan panas dan kedalaman celah, serta efisiensi termal sistem hanya tergantung pada masukan panas.

Chen and Chen (2006) melakukan penelitian tentang eksperimen konveksi natural pada dinding Trombe. Disimpulkan bahwa untuk meningkatkan efisiensi termal, yang perlu dilakukan adalah mengoptimalkan perpindahan panas pada celah udara, aliran udara yang terjadi adalah transisi antara laminar dan turbulen.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang dipaparkan di atas, dapat ditarik suatu kesamaan, dimana untuk mengoptimalkan kinerja perpindahan panas dan massa sistem dinding Trombe, diperlukan modifikasi-modifikasi. Pada penelitian ini akan

diusulkan modifikasi bentuk alur pada permukaan dinding Trombe, dengan tujuan memaksimalkan perpindahan panas, serta mempermudah aliran udara panas naik ke atas.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen murni, dimana dua buah model dinding trombe dibuat dengan beton, dengan perbandingan semen dan pasir 1:2. Satu buah dinding trombe datar dengan panjang 140 mm, dan satu buah dinding Trombe beralur dengan panjang 160 mm, dimensi melintang dari kedua dinding Trombe ditampilkan pada gambar 6. Dinding Trombe beralur lebih panjang daripada dinding Trombe datar dikarenakan untuk massa yang sama, dinding Trombe beralur mempunyai kelebihan beton untuk membuat alur, sehingga terjadi pertambahan panjang. Kedua dinding Trombe yang

dibuat diberi cat hitam untuk memaksimalkan penyerapan panas dari matahari.

Sistem dinding Trombe dibuat dengan lebar celah udara sebesar 30 mm, dan dimiringkan menghadap arah utara sebesar 45°. Dari kedua sistem, diambil data temperatur, dengan menggunakan sensor LM35 dan dibantu dengan sistem akuisisi data dengan mikro kontroller. Sensor LM35 yang digunakan, semuanya dilindungi dari sinar matahari langsung, sehingga benar-benar hanya mengukur temperatur udara dan permukaan saja. Data temperatur yang diukur untuk kedua sistem adalah :

- Temperatur udara masuk sistem
- Temperatur udara keluar sistem
- Temperatur permukaan

Data diambil dalam selang waktu 10 menit, dari jam 8 pagi sampai jam 17.30. Data yang terkumpulakan digrafikkan dan dicari angka Nusselt untuk mengetahui perpindahan panas dari kedua sistem tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data temperatur

Berdasarkan penelitian, didapatkan data-data temperatur dari kedua sistem. Data temperatur, untuk mengetahui perbedaan dari kedua sistem, maka dari data dilakukan regresi polynomial orde 6 untuk semua sistem.

Temperatur permukaan kedua sistem dinding Trombe dapat dilihat pada gambar 7. Dari gambar 7 terlihat bahwa sistem dengan dinding Trombe beralur mempunyai temperatur permukaan yang lebih tinggi daripada sistem dinding trombe datar. Hal ini disebabkan oleh dinding Trombe beralur mempunyai luas penampang frontal yang lebih luas daripada sistem dinding Trombe datar, sehingga luas daerah yang terkena sinar matahari menjadi lebih besar pula. Dimensi panjang dinding Trombe juga berpengaruh, dimana dengan massa beton yang sama, sistem yang beralur mempunyai panjang yang lebih, sehingga temperatur permukaannya menjadi lebih tinggi.

Temperatur permukaan yang lebih tinggi pada sistem beralur, menyebabkan temperatur masuk (inlet) sistem menjadi berbeda pula. Dimana temperatur masuk sistem beralur lebih tinggi daripada sistem datar, seperti yang dapat dilihat pada gambar 8.

Pada gambar 9, dapat dilihat pula kondisi udara keluar (outlet) untuk kedua sistem Trombe. Dapat dilihat pada gambar 9, bahwa sistem Trombe beralur

mempunyai temperatur udara keluar yang lebih tinggi daripada sistem Trombe datar.

Selanjutnya akan dilihat bagaimana kondisi selisih temperatur udara masuk dan keluar untuk kedua sistem ini. Selisih temperatur antara keluar dan masuk (outlet-inlet) dapat dilihat pada gambar 10. Dimana dilihat bahwa untuk sistem beralur banyak ditemukan hasil selisih antara outlet dan inlet bernilai negatif, yaitu 53% untuk sistem beralur, dan 29% untuk sistem Trombe datar. Artinya dalam sistem beralur, banyak terjadi temperatur udara keluar lebih rendah daripada temperatur udara masuk. Hal ini dimungkinkan terjadi karena proses perpindahan panas di dalam sistem, antara permukaan dinding dan udara, dimana bentuk yang beralur akan memudahkan udara panas keluar, sehingga terjadi perubahan proses perpindahan panas antara kedua sistem..

3.2 Angka Nusselt

Untuk perhitungan perpindahan panas, diperlukan perhitungan persamaan-persamaan berikut :

Koefisien ekspansi volume untuk gas ideal :

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Dimana T adalah temperatur film (T permukaan - T udara)

Angka Grashof :

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu} \quad (2)$$

Angka Prandtl :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (3)$$

Angka Rayleigh :

$$Ra_{x,c} = Gr_{Lx,c} Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)x^3}{\nu\alpha} \quad (4)$$

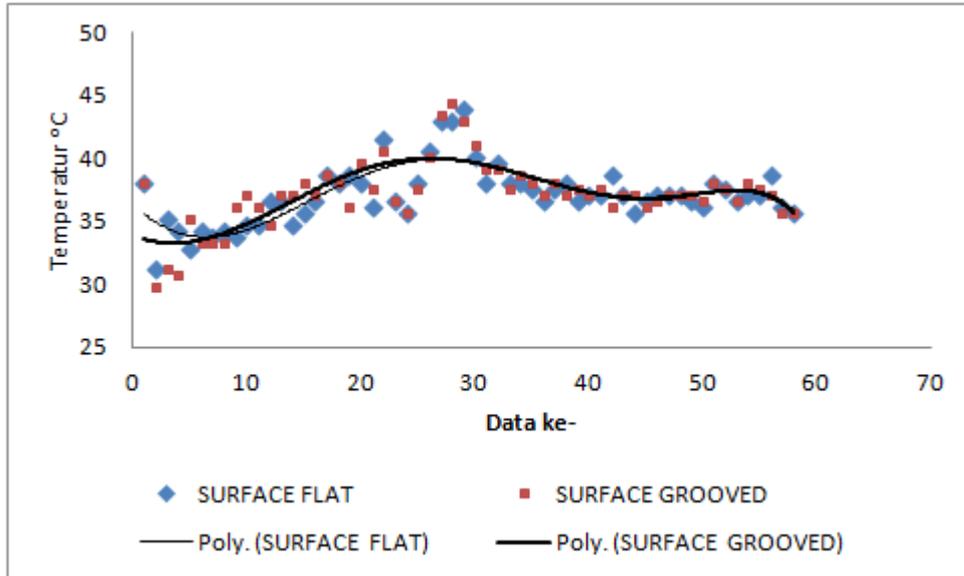
Angka Nusselt :

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (5)$$

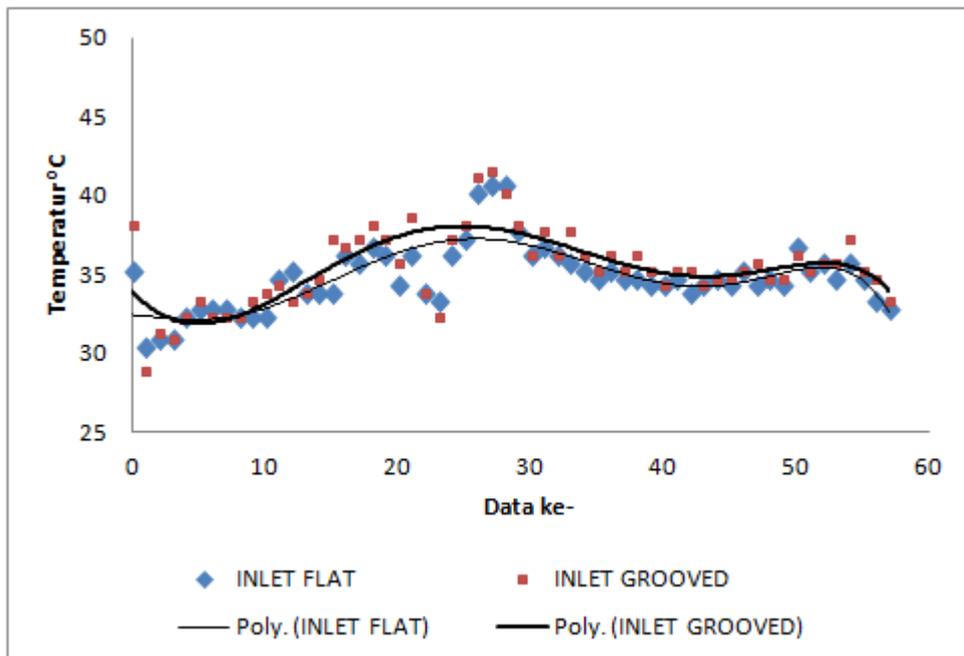
Dari perhitungan angka Nusselt untuk kedua sistem Trombe, maka didapat grafik seperti ditampilkan pada gambar 11. Pada gambar 11 tersebut dapat dilihat bahwa angka Nusselt untuk sistem Trombe datar mempunyai nilai yang lebih tinggi

daripada sistem Trombe beralur. Hal ini menandakan bahwa pada sistem datar, perpindahan panas yang terjadi adalah lebih cenderung konveksi antara permukaan beton dan udara. Sedangkan pada sistem beralur perpindahan panas konveksinya tidak

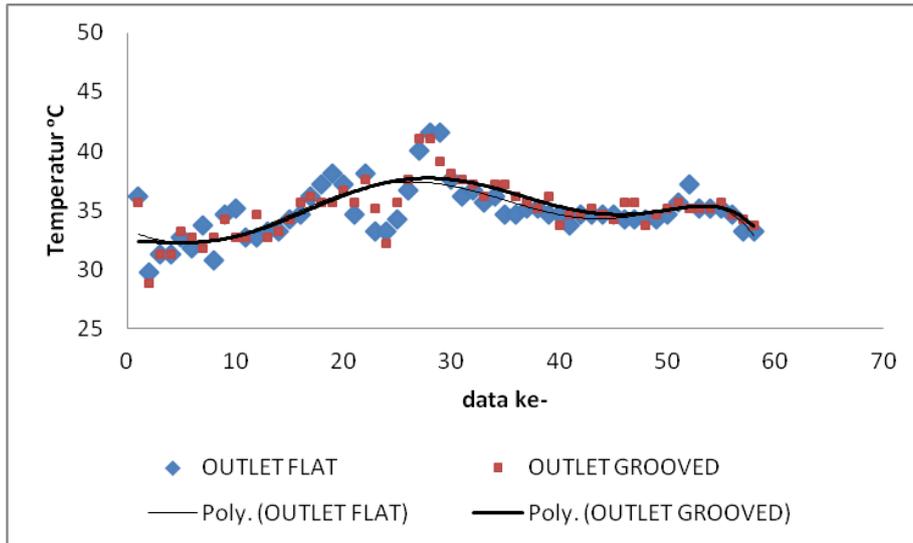
seintensif pada sistem datar. Kemungkinan yang terjadi adalah pada sistem beralur, aliran udara lebih cepat keluar, sehingga perpindahan panas antara udara dan permukaan beton menjadi lebih singkat.



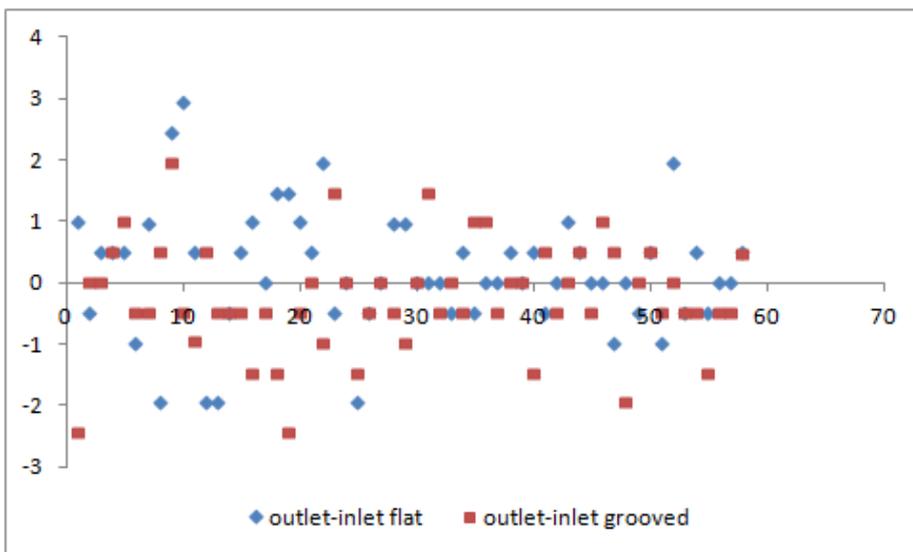
Gambar 7. Perbandingan temperatur permukaan pada kedua sistem



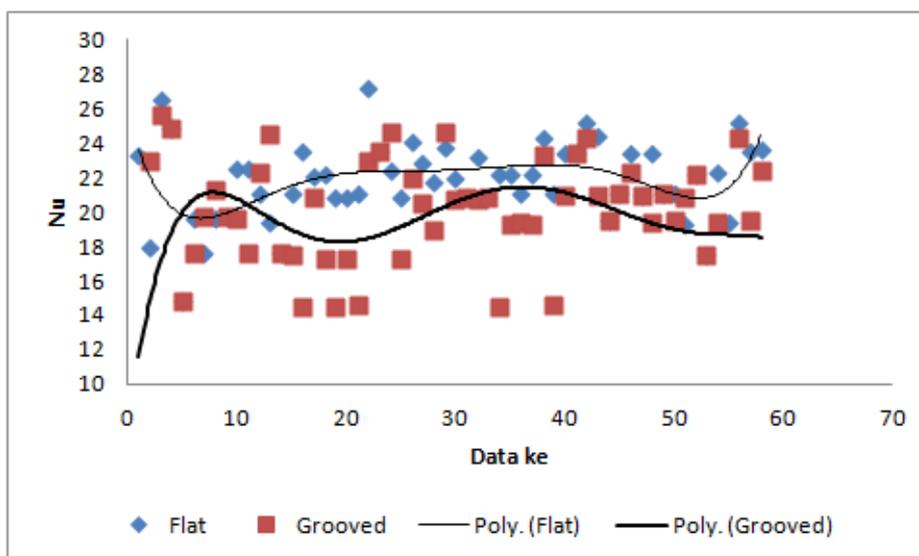
Gambar 8. Perbandingan temperatur udara masuk pada kedua sistem



Gambar 9. Perbandingan temperatur udara keluar pada kedua sistem



Gambar 10. Selisih temperatur udara keluar dan udara masuk pada kedua sistem



Gambar 11. Perbandingan angka Nusselt pada kedua sistem

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian, maka didapatkan bahwa:

- a. Sistem dinding Trombe beralur memungkinkan temperatur permukaan yang lebih tinggi daripada sistem datar
- b. Sistem dinding Trombe beralur mengakibatkan angka Nusselt yang lebih rendah daripada sistem datar
- c. Dari penelitian awal ini, perlu diteliti lebih lanjut tentang profil kecepatan udara yang lewat pada sistem beralur, baik berupa pemodelan fluida dan atau eksperimen nyata

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Sari Mulia atas izin dan fasilitas yang diberikan selama penelitian ini. Dan juga kepada Universitas Lambung Mangkurat yang telah bersedia mempublikasikan penelitian ini pada seminar Nasional yang diadakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Burek, S. A. M. and Habeb, A. (2007) 'Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls', 39, pp. 128–135. doi: 10.1016/j.enbuild.2006.04.015.
- Chen, B. and Chen, C. (2006) 'Experimental Investigation of Natural Convection in Trombe Wall Systems School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology', (1995), pp. 7–11.
- Corasaniti, S. *et al.* (2017) 'Numerical simulation of modified Trombe-Michel Walls with exergy and energy analysis', *International Communications in Heat and Mass Transfer*. Elsevier, 88, pp. 269–276. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.09.005.
- Li, Y. *et al.* (2007) 'Study on the air movement character in solar wall system', in *IBPSA 2007 - International Building Performance Simulation Association 2007*, pp. 927–931.
- Martynenko, Oleg G., Khramtsov, Pavel P., 2005. *Free-convective heat transfer*. Springer New York
- Rabani, Mehran., Kalantar, Vali., Rabani, Mehrdad., 2017, *Heat Transfer Analysis of a Trombe Wall with a Projecting Channel Design*, Energy,
- Rizali, Muhammad. 2017. Pengaruh lebar celah udara terhadap kondisi ruangan dengan sistem kombinasi photovoltaic-trombe (pv/t). Seminar Nasional Riset Terapan. Politeknik Negeri

Banjarmasin

Zhou, G. and Pang, M. (2015) 'Experimental investigations on thermal performance of phase change material - Trombe wall system enhanced by delta winglet vortex generators', *Energy*. Elsevier Ltd, 93, pp. 758–769. doi: 10.1016/j.energy.2015.09.096.