

Uji Prestasi Air Heater pada Pelat Bergelombang Melintang dengan Variasi Kecepatan Udara Masuk

Bambang Yunianto^{a,*}, Sumar Hadi Surya^a, Dicky Oktavian^b

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^bProgram Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: byunianto20@gmail.com

Abstract

Solar energy is one of the non-conventional renewable energy available freely as an energy source that provides a free pollution. The simplest and most efficient way to harness solar energy is to convert it into thermal energy for heating applications using solar collectors. This study discusses the difference in efficiency between flat plate and crossed corrugated collectors. The results of this study are finding useful heat, incoming heat, heat loss and collector efficiency. The useful heat is the heat generated by the collector during the test. The incoming heat is the heat coming from the halogen lamp (as solar simulator) that is directed to the collector. The aim of this research is to get the temperature data result from 3 sensors located in room, heat absorber plate and collector outlet. Then knowing the efficiency of the air heater collector from 7 variations of air velocity are 2,1 m/s, 2,3 m/s, 2,4 m/s, 3m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s. And the last is to compare the collector efficiency of flat plate and crossed corrugated plate. The test results show that the efficiency of crossed corrugated plate higher than the flat plate and the more air velocity, the efficiency will also increase.

Keywords: Solar collector; crossed corrugated plate; velocity; temperature; efficiency

Abstrak

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan non-konvensional yang tersedia secara bebas sebagai sumber energi yang bebas polusi. Cara yang paling sederhana dan paling efisien untuk memanfaatkan energi surya adalah mengubahnya menjadi energi termal untuk aplikasi pemanasan dengan menggunakan kolektor surya. Penelitian ini membahas tentang perbedaan efisiensi antara kolektor pelat datar dan pelat dengan plat gelombang melintang. Dari penelitian ini didapatkan panas yang berguna, panas yang masuk, panas yang hilang, dan efisiensi kolektor. Energi input pada kolektor adalah panas yang berasal dari lampu halogen (sebagai simulator matahari) yang diarahkan ke kolektor. Pengujian dari penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data-data temperatur dari 3 buah sensor yang berada pada ruangan, pelat penyerap panas dan tempat keluar kolektor. Kemudian mengetahui efisiensi kolektor pemanas udara dari 7 variasi kecepatan udara yaitu 2,1 m/s, 2,3 m/s, 2,4 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s. Dan yang terakhir adalah membandingkan nilai efisiensi kolektor pelat datar dan pelat gelombang melintang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi kolektor pelat gelombang melintang lebih tinggi dibanding pelat datar dan semakin meningkat laju kecepatan udara maka efisiensi juga akan meningkat.

Kata kunci: Kolektor surya; plat gelombang; kecepatan udara; temperatur; efisiensi

1. Pendahuluan

Energi dalam berbagai bentuk telah memainkan peran penting dalam kemajuan ekonomi dan industri di seluruh dunia. Sumber utama energi ini berasal dari cadangan bahan bakar fosil. Dengan semakin berkurangnya bahan bakar fosil di dunia sebagai sumber energi, mendorong dilakukan pengembangan sumber energi terbarukan. Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang tersedia secara bebas sebagai sumber energi yang bebas polusi. Cara yang paling sederhana dan paling efisien untuk memanfaatkan energi surya adalah mengubahnya menjadi energi termal untuk aplikasi pemanasan dengan menggunakan kolektor surya [1].

Pemanfaatan energi surya banyak digunakan sebagai pemanas air (*solar water heater*) dan pemanas udara (*solar air heater*) karena sederhana dan murah [2]. Cara kerja kolektor pemanas udara adalah dengan mengumpulkan energi panas dari matahari dengan cara radiasi, kemudian panas akan diserap oleh pelat dan kemudian pelat mentransfer energi panas ke udara dengan bantuan fan melalui proses konveksi paksa [3]. Pada pemanas udara surya, pemanfaatannya antara lain sebagai pemanas ruangan, untuk mengeringkan produk pertanian dan makanan serta menyimpan panas (*thermal storage*) [4]. Dibandingkan dengan alat pemanas udara lainnya dengan sumber panas gas, ataupun listrik, pemanas udara surya memiliki kelebihan dalam hal konstruksi, penggunaan material dan biaya operasional yang

minimal. Sebagai dasar konstruksi pemanas udara surya adalah jenis kolektor plat datar [5]. Dalam pengembangannya banyak modifikasi pada kolektor plat datar untuk meningkatkan efisiensinya.

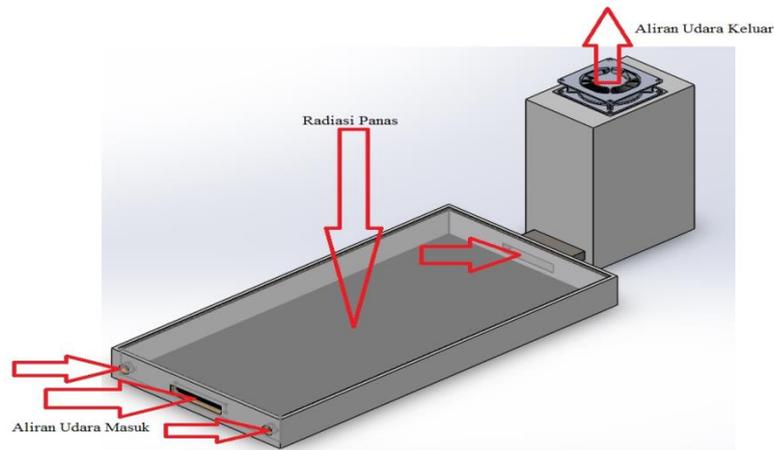
Ada dua metode dasar untuk meningkatkan nilai efisiensi termal pada pemanas udara surya. Metode pertama melibatkan peningkatan luas permukaan perpindahan panas dengan menambahkan sirip-sirip pada plat [6] dan permukaan bergelombang [4] tanpa mempengaruhi koefisien perpindahan panas konveksi. Metode kedua melibatkan peningkatan perpindahan panas konveksi dengan menciptakan turbulensi di permukaan perpindahan panas. Hal ini dapat dicapai dengan memberikan kekasaran buatan (*artificial roughness*) pada pelat penyerap [7], pemasangan *matrix* [8] pada permukaan plat dan pemasangan *vortex generator*. [2]. Besar energi surya bervariasi terhadap waktu, tiap jam, harian bahkan bulan.. Energi surya yang berubah setiap waktu ini dipengaruhi oleh sudut datangnya matahari terhadap permukaan bidang. Sehingga efisiensi kolektor dipengaruhi juga posisi dari kolektor thd arah datangnya sinar matahari dan sudut kemiringannya [9, 10].

Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan efisiensi antara kolektor pelat dengan bentuk datar dan pelat dengan bentuk gelombang melintang. Modifikasi dari pelat penyerap panas tersebut dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan panas. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara lewat kolektor pada kecepatan 2,1 m/s, sampai dengan 4,5 m/s. Sebagai langkah awal penelitian digunakan pemanas simulator surya (lampu halogen 1000 watt) sebagai ganti pemanas energi surya.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan dan Peralatan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan efisiensi *air heater* plat datar dan plat bergelombang melintang. Kolektor dibuat dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi saluran masing-masing 100 cm, 60 cm dan 10 cm. Kolektor dibuat dari rangka papan kayu tebal 10 mm dan di atasnya dipasang plat datar dan plat bergelombang dari bahan besi 2 mm yang dicat hitam (gambar 1) dan kolektor diletakkan pada posisi horizontal. Pada atap kolektor



Gambar 1. Kolektor Pemanas Udara

ditutup dengan kaca transparan untuk menangkap panas dari 2 lampu halogen (masing-masing 500 watt) yang dipasang 10 cm di atas permukaan kaca. Lampu halogen ini berfungsi sebagai simulator matahari, karena mempunyai spectrum panjang gelombang yang cukup dekat dengan spectrum panjang gelombang matahari. Udara mengalir dalam kolektor dengan cara dihisap oleh sebuah Fan yang dipasang pada sisi keluar kolektor. Bahan dan peralatan yang digunakan pada pengujian kolektor pemanas udara adalah seperti ditunjukkan gambar 2 hingga 8.



Gambar 2. Pelat datar



Gambar 3. Pelat bergelombang



Gambar 4. Lampu Halogen



Gambar 5. Exhaust Fan



Gambar 6. Termokopel Tipe K



Gambar 7. Modul Akuisisi Data



Gambar 8. Hot Wire Anemometer

Pada kolektor pemanas udara dipasang sensor termokopel tipe K sebagai pengukur temperatur pelat, ruangan dan udara masuk dan keluar kolektor. Dilengkapi pula modul portabel akuisisi data untuk merekam data hasil pengukuran, computer berfungsi untuk memproses data akuisisi dan menampilkan hasil pengukuran serta hot wire anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang mengalir dalam kolektor.

2.2 Perhitungan Efisiensi

Prestasi dari pemanas udara surya dinyatakan dalam efisiensi, yang menyatakan perbandingan panas berguna, Q_u terhadap panas masuk, $I.Ac$ pada permukaan kolektor. Panas yang datang permukaan kolektor, sebagian diserap oleh permukaan plat, kemudian dikonveksikan ke udara sehingga meningkatkan temperatur udara dan panas berguna. Sebagian lagi akan dibuang ke lingkungan melalui konduksi lewat dinding-dinding kolektor dan radiasi lewat kaca penutup, Q_{loss} . Besar energy berguna tergantung dari konstruksi kolektor, plat penyerap, isolator dan jenis kaca penutup Efisiensi kolektor dinyatakan dengan persamaan [3],

$$Ef = \frac{Q_u}{I.Ac} \quad (1)$$

Panas yang berguna Q_u adalah panas maksimal yang digunakan untuk memanaskan udara masuk.

$$\dot{Q}_U = \dot{m}_{udara} * C_{p,udara} * (T_{out} - T_{in}) \quad (2)$$

\dot{m}_{udara} = Laju aliran massa udara (kg/s)

$C_{p,udara}$ = Kapasitas panas spesifik udara ($J/Kg * K$)

T_{out} = Temperatur udara keluar($^{\circ}K$)

T_{in} = Temperatur udara masuk($^{\circ}K$)

Panas yang masuk adalah panas dari lampu halogen yang masuk menuju kolektor.

$$Ic.Ac = F_{1-2} * P_{Lampu} \quad (3)$$

F_{1-2} = Faktor bentuk permukaan

P_{Lampu} = Daya lampu halogen (Watt)

Panas yang hilang adalah panas yang keluar kolektor dari dinding –dinding bawah maupun dinding atas (kaca).

$$\dot{Q}_{Loss} = Ic.Ac - \dot{Q}_U \quad (4)$$

$Ic.Ac$ = Panas yang masuk (Watt)

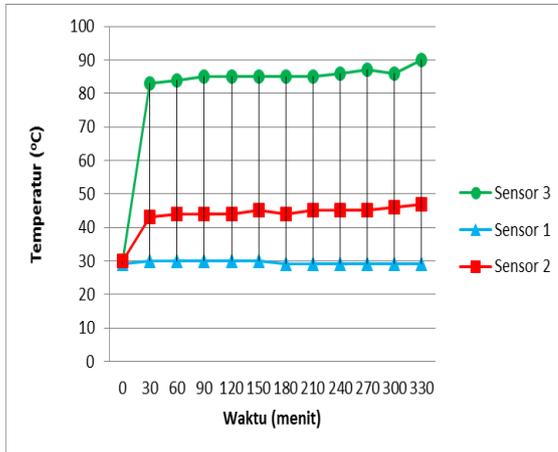
\dot{Q}_U = Panas yang berguna (Watt)

3. Hasil dan Pembahasan

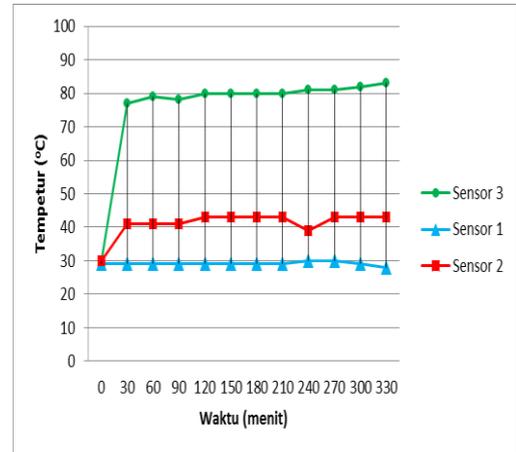
Data-data hasil pengujian adalah temperatur permukaan plat, temperatur udara masuk dan keluar dan kecepatan udara. Dari data –data ini dapatdigunakan untuk menghitung panas berguna yang diserap udara masuk dan efisiensi kolektor. Adapun variasi kecepatan udara dalam kolektor adalah 2.1 m/s, 2.4 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s dan 4.5 m/s. Berikut

data-data hasil pengukuran temperatur pada kolektor plat datar dan plat bergelombang melintang sebagai fungsi waktu yang disajikan dalam gambar 9 sampai dengan gambar 16.

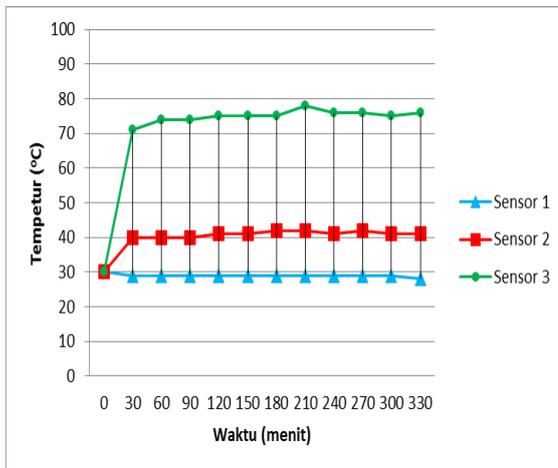
Dari gambar 9 hingga gambar 12 diketahui bahwa makin tinggi kecepatan aliran udara lewat permukaan plat, akan terjadi penurunan temperatur plat maupun temperatur udaranya, seperti yang ditunjukkan pada sensor 2 dan 3. Kondisi ini terjadi karena makin tinggi kecepatan udara maka kontak udara dengan plat makin singkat sehingga temperatur udara menjadi turun. Dapat dilihat bahwa temperatur udara keluar 47 °C untuk kecepatan udara 2,1 m/dt dan 40 °C untuk kecepatan udara 4,5 m/dt, sementara temperatur plat 90 °C dan 70 °C.



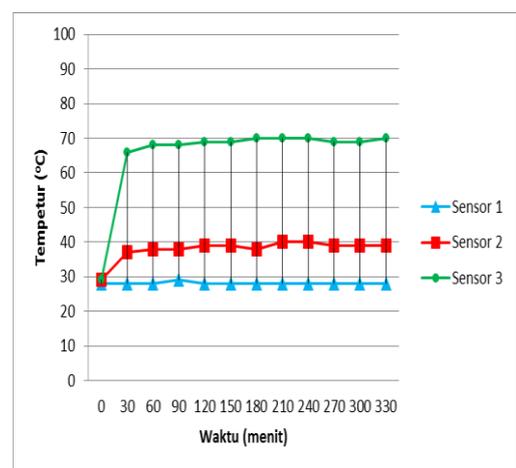
Gambar 9. Hubungan temperatur terhadap waktu plat datar untuk kecepatan 2.1 m/dt.



Gambar 10. Hubungan temperatur terhadap waktu plat datar untuk kecepatan .2. 4 m/dt.

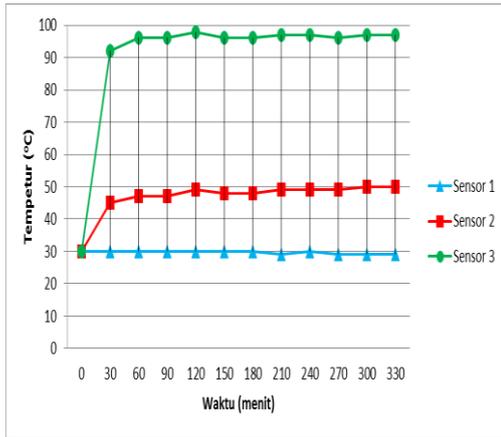


Gambar 11. Hubungan temperatur terhadap waktu plat datar untuk kecepatan 3.5 m/dt.

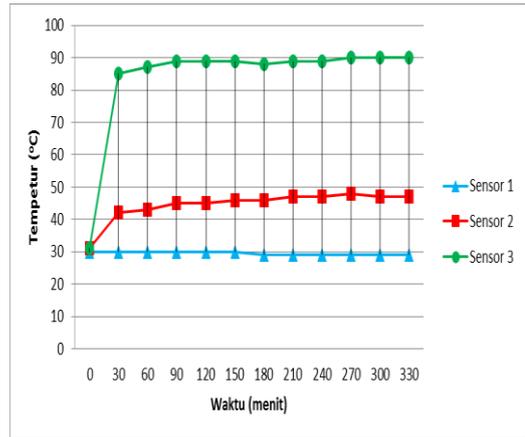


Gambar 12. Hubungan temperatur terhadap waktu plat datar untuk kecepatan. 4.5 m/dt.

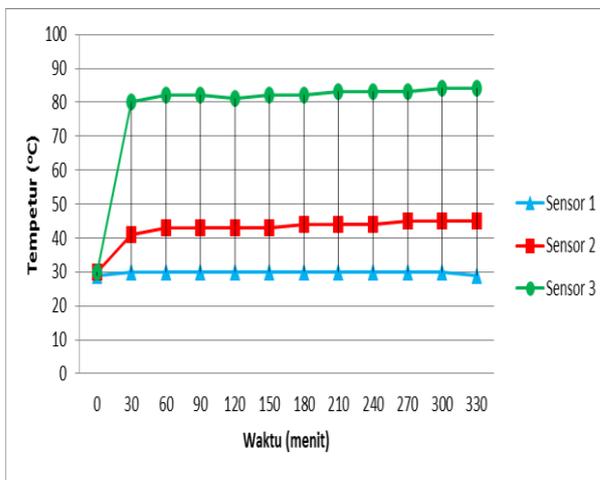
Kondisi yang sama terjadi pula pada aliran udara melewati plat bergelombang. Makin tinggi kecepatan udara, maka akan terjadi penurunan temperatur plat dan udara keluarannya. Namun dibandingkan dengan aliran udara lewat plat datar, temperatur udara keluar lewat plat bergelombang mempunyai temperatur yang lebih tinggi, yaitu 50 °C pada kecepatan 2.1 m/dt dan 42 °C pada kecepatan 4,5 m/dt, demikian juga untuk temperatur plat dari 98 °C menjadi 80 °C. Terjadinya peningkatan temperatur plat maupun udara keluar kolektor menunjukkan adanya peningkatan perpindahan panas dari plat ke udara. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan aliran turbulen dalam permukaan plat akibat terhalangnya aliran udara oleh permukaan plat yang bergelombang, dimana plat bergelombang ini berfungsi sebagai *vortex generator*. Pernyataan ini bisa dibuktikan dengan data bahwa plat bergelombang dapat meningkatkan efisiensi kolektor yang dapat dilihat dari gambar 17.



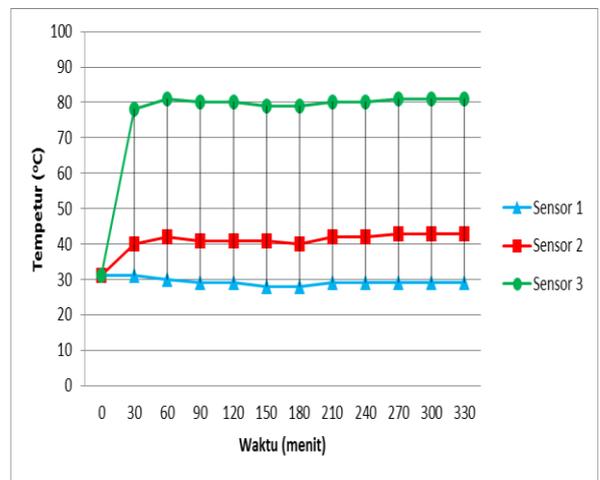
Gambar 13. Hubungan temperature terhadap waktu plat bergelombang untuk kecepatan 2.1 m/dt.



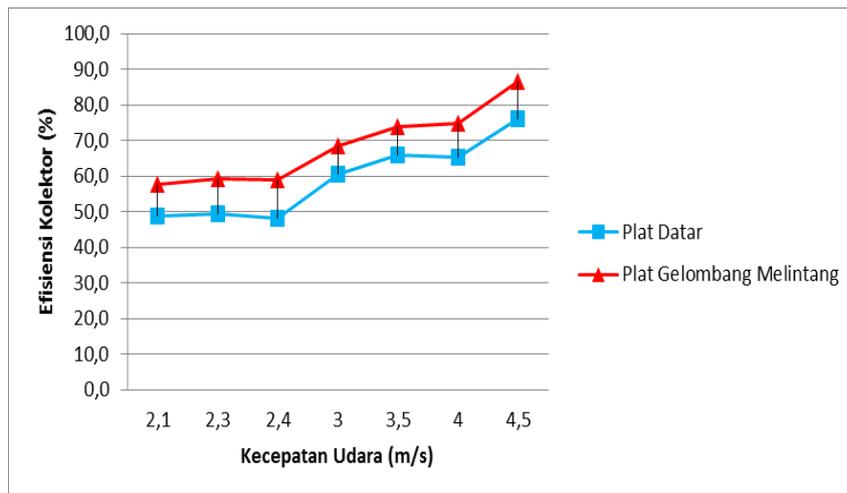
Gambar 14. Hubungan temperature terhadap waktu plat bergelombang untuk kecepatan 2.4 m/dt



Gambar 15. Hubungan temperature terhadap waktu plat bergelombang untuk kecepatan 3,5 m/dt.



Gambar 16. Hubungan temperature terhadap waktu plat bergelombang untuk kecepatan 4,5 m/dt.



Gambar 17. Perbandingan efektifitas kolektor plat datar dan plat bergelombang

Data hasil pengujian dari dua jenis plat kolektor (gambar 17.) mempunyai kecenderungan yang sama, namun beda secara kuantitatif. Dapat dilihat efisiensi tertinggi pelat datar yakni sebesar 76,2% dan efisiensi tertinggi pada pelat gelombang melintang sebesar 86,7 % pada kecepatan udara 4,5 m/s. Sehingga dapat disimpulkan efisiensi yang terjadi pada masing-masing pelat, berbanding lurus terhadap kecepatan udara walaupun kenyataannya garis yang terbentuk

tidak linier sempurna. Efisiensi kolektor dengan plat gelombang lebih tinggi dari pada kolektor pelat datar, karena pelat bergelombang mempunyai luas permukaan yang lebih luas untuk luasan kolektor yang sama. Disamping itu pelat gelombang dipasang pada arah melintang terhadap arah aliran udara, sehingga gelombang ini juga berfungsi sebagai *vortex generator* yang menimbulkan turbulensi aliran dan meningkatkan laju panas atau panas berguna (Q_u) dari permukaan plat ke aliran udara. Adapun perbedaan temperatur udara keluar pada pelat datar dan pelat gelombang sekitar 3°C , yaitu 47°C untuk udara keluar pada pelat datar dan 50°C untuk pelat bergelombang.

4. Kesimpulan

Kolektor pemanas udara (*air heater*) dengan pelat gelombang melintang menghasilkan panas berguna yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelat datar, sehingga efisiensi pada pelat bergelombang juga meningkat. Peningkatan kecepatan udara dalam kolektor akan meningkatkan efisiensi dari kolektor. Peningkatan efisiensi tertinggi terjadi pada kecepatan $4,5$ m/detik, yaitu sebesar $76,2\%$ yang diperoleh pelat datar dan pada pelat gelombang melintang sebesar $86,7\%$. Adapun temperatur udara keluar tertinggi pada pelat datar sebesar 47°C , sedangkan untuk pelat gelombang melintang sebesar 50°C . Jadi dengan digunakannya pelat bergelombang diperoleh peningkatan temperatur udara 3°C . Hal ini terjadi karena pada pelat gelombang mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibanding permukaan plat datar, sehingga panas yang dapat diserap plat kolektor lebih tinggi. Disamping mempunyai luas permukaan yang lebih besar, pelat bergelombang juga berfungsi sebagai *vortex generator* yang mampu menghasilkan turbulensi yang lebih tinggi, sehingga dari kedua factor tersebut menyebabkan proses perpindahan panas berguna dari permukaan plat ke udara makin meningkat.

Daftar Pustaka

- [1]. F. Chabane, N. Moumami, S. Benramache, D. Bensahal, and O. Belahssen. "Collector Efficiency by Single Pass of Solar Air Heaters with and without Using Fins". Mechanics Department, Faculty of Sciences and Technology, University of Biskra, Algeria, 2013.
- [2]. N. Koolnapadol, P. Promvong, and Skullong, S. "Performance assessment of solar air heater duct roughened with perforated-winglet vortex generators". *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, vol. 6, pp. 31–39, 2017.
- [3]. J.A. Duffie, W.A. Beckman. "Solar engineering of thermal processes". A. Wiley interscience publication, second edition, USA, 1991.
- [4]. A. Priyam, P. Chand. "Effect of wavelength and amplitude on the performance of wavy finned absorber solar air heater". *Renewable Energy*, vol. 119, pp. 690-702, 2018.
- [5]. J. Jongpluempiti, N. Pannuchaoenwong, C. Benjapiyaporn, P. Vengsungnle. "Design and construction of the flat plat solar air heater for spray dryer". *Energy procedia*, vol. 138, pp. 288-293, 2017.
- [6]. M. Ansari, M. Bazargan. "Optimization of plat collector air heaters with ribbed surface". *Applied thermal engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018>.
- [7]. Y.S. Anil, T.K. Manish. "Artificially Roughened Solar Air Heater: A Comparative Study". Mechanical Engineering Department, Lakshmi Narain College of Technology-Excellence (LNCTE), Bhopal, India. 2014.
- [8]. K. Rajarajeswari, A. Sreekumar. "Matrix solar air heaters-a review". *Renewable and sustainable energy review*, vol. 57, pp. 704-712, 2015.
- [9]. H. Gunerhan, A. Hepbasli. "Determination of the tilt angle of solar collectors for building applications". *Building and environment*, vol. 42, pp. 779-783, 2007.
- [10]. S. Soulayman, M. Hammoud. "Optimum tilt angle of solar collectors for building applications in mid latitude zone". *Energy conversion and management*, vol. 124, pp. 20-28, 2016.