



Initial analysis of temperature distribution in V-shaped Thermal Collector

Hadi Prayitno *, Angga Darma Prabowo, dan Rizal Khairudin

Department Mechanical Engineering, University of Lampung

*Corresponding author: hadi.prayitno@eng.unila.ac.id

INFO ARTIKEL

Kata kunci:
Emisi, Kolektor bentuk V,
Distribusi temperatur

Keywords:
*Emission, V shape collector,
Temperature distribution*

A B S T R A K

Pada tahun 2030 Indonesia menargetkan pengurangan emisi hingga 29% dengan upaya sendiri dan 41% dengan bantuan internasional. Optimalisasi penggunaan energi termal dapat menekan laju emisi karbon. Kolektor termal juga dapat dioptimalkan sebagai teknologi pengeringan paska panen dalam menunjang pertanian berkelanjutan. Kolektor termal memiliki berbagai macam jenis. Sebagai analisis awal karakteristik perpindahan panas pada kolektor dimodelkan dengan menggunakan kolektor berbentuk V (*V Groove*). Distribusi Temperatur diamati dengan menggunakan komputasi dinamika fluida. Simulasi dilakukan diawali proses pemodelan, yaitu menentukan desain geometri dan material, melakukan meshing dan menentukan kondisi batas. *Reynold number* yang digunakan dalam penelitian ini 1500, 3000, dan 4500 yang masing-masing mewakili laminar, transisi, dan turbulen. Iradiasi matahari disimulasikan pada 1000, 800, dan 600 W/m². Penelitian pendahuluan ini menunjukkan semakin tinggi bilangan *Reynold* semakin rendah temperatur udara keluar dan temperatur permukaan kolektor. Semakin besar iradiasi, semakin besar temperatur udara keluar kolektor dan temperatur permukaan kolektor yang dihasilkan.

A B S T R A C T

By 2030, Indonesia aims to reduce emissions by up to 29% through domestic initiatives and 41% with international assistance. Optimizing the utilization of thermal energy can reduce the rate of carbon emissions. Thermal collectors can also be optimized as a post-harvest drying technology to support agricultural sustainability. Thermal collectors are available in various forms. As an initial analysis, the characteristics of heat transfer in the collector are modeled using a V-shaped collector (*V Groove*). The distribution of temperature is quantified through computational fluid dynamics. The simulation is initiated with the modeling process, which entails determining the geometry and material design, conducting meshing, and establishing boundary conditions. The Reynolds numbers employed in this study are 1500, 3000, and 4500, which correspond to laminar, transitional, and turbulent flow, respectively. The solar irradiation was simulated at 1000, 800, and 600 W/m². The preliminary research indicates that an increase in the Reynolds number is associated with a reduction in the exit air temperature and collector surface temperature. Furthermore, it was observed that an increase in irradiation results in a higher air temperature leaving the collector, which in turn leads to an elevated collector surface temperature.

Received: 12 Desember 2023

Revised: 27 Maret 2024

Online published: 15 Mei 2024

1. Pendahuluan

Kolektor termal yang paling banyak digunakan adalah kolektor termal plat datar karena memiliki konstruksi yang ringkas. Telah banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja kolektor termal plat datar antara lain dengan menambahkan sirip guna meningkatkan luas area perpindahan panas antara material kolektor termal dengan udara yang dialirkan [1] sehingga, temperatur udara keluar kolektor termal dengan sirip lebih tinggi dari kolektor termal tanpa sirip [2,3]. Saat ini telah banyak dikembangkan berbagai geometri sirip dari yang sederhana berupa sirip lurus hingga sirip dengan geometri *inclined 45°* yang memiliki kinerja termal 2 kali lebih baik dibanding sirip lurus [4]. Namun kelemahan dari penambahan sirip adalah hanya dimungkinkan pada kolektor dengan bahan baja yang mudah dilakukan proses pengelasan sementara baja memiliki nilai konduktivitas termal yang jauh lebih rendah dari bahan logam lain seperti aluminium [5]. Aluminium memiliki konduktivitas termal 3 kali lebih besar dari baja namun sulit untuk dilakukan penambahan sirip dengan cara pengelasan melainkan harus dilakukan dengan cara pengecoran logam aluminium yang membutuhkan biaya besar.

Solusi untuk meningkatkan efektivitas kolektor termal dengan bahan aluminium yaitu dengan mengubah geometri kolektor menjadi *Corrugated* atau *V-Shape*. Geometri dasar kolektor berupa *V-Shape* agar luas area perpindahan panas antara kolektor dengan udara menjadi lebih besar. Selain itu, kemampuan untuk menangkap iradiasi lebih besar dibanding kolektor dengan plat datar. Keunggulan tersebut dapat meningkatkan jumlah energi matahari yang diserap dan energi yang dipindahkan oleh udara untuk dimanfaatkan dalam sebagai pengering [6,7].

Kolektor termal merupakan salah satu jenis alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang memindahkan panas dari energi iradiasi matahari menuju fluida kerja yang mengalir pada kolektor termal. Kolektor termal memiliki komponen utama yaitu sebuah absorber, dimana energi panas iradiasi matahari diterima oleh absorber akan ditransfer ke fluida mengalir seperti air, udara, oli atau minyak. sehingga dalam proses tersebut terjadi pertukaran panas dari absorber menuju fluida yang akan digunakan untuk berbagai keperluan [8].

Berdasarkan dimensi dan geometri penyerapan energi iradiasi matahari, kolektor termal diklasifikasikan menjadi kolektor plat datar, kolektor parabolik dan kolektor pompa

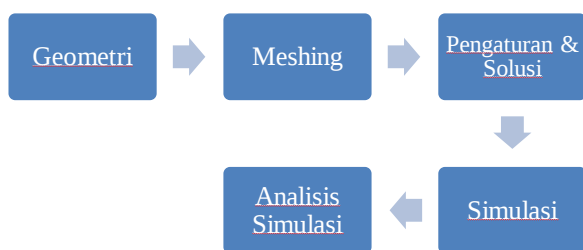


evakuasi [9]. Dalam penelitian ini menggunakan kolektor plat datar dikarenakan jenis kolektor ini relatif ringan dan mudah diaplikasikan. Sedangkan, pada bagian absorbernya menggunakan geometri *V-Shape*. Geometri *V-shape* diharapkan menambah luas area penyerapan energi matahari [10, 11]. Penelitian ini melakukan analisis awal performa dari kolektor termal *V-Shape* dengan simulasi menggunakan software pemodelan fluida.

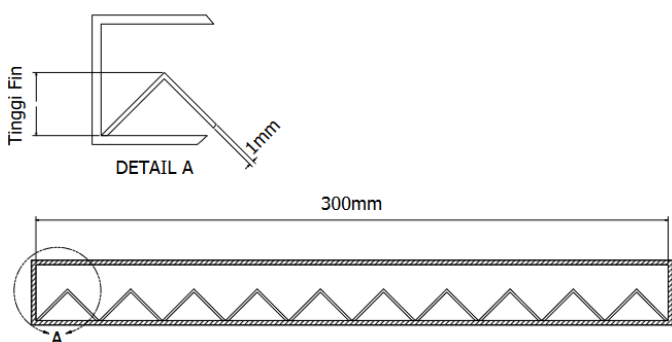
2. Metode Penelitian

Dalam tahap ini dilakukan pencarian informasi terkait mengenai penelitian yang akan dilakukan berupa efisiensi termal antar kolektor termal plat datar, *parabolic* dan *V-Shape*, fenomena perpindahan panas serta karakteristik tertermal. Prosedur analisis awal distribusi temperatur pada Kolektor Termal bentuk V adalah sebagai berikut [1]:

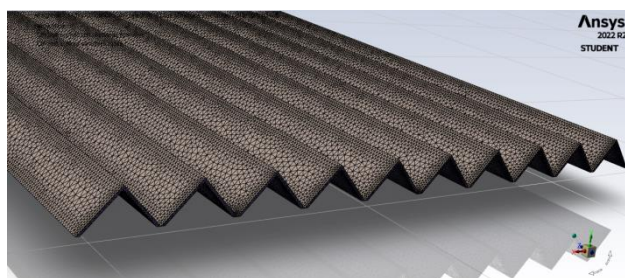
Penelitian diawali dengan membuat model kolektor termal *V-Shape* menggunakan perangkat lunak CAD dengan bentuk geometri berupa lebar *V-Shape* 25, 20, 15 mm, panjang kolektor 550 mm dan tebal kolektor 1 mm.



Gambar 1. Alur pemodelan kolektor termal bentuk V



Gambar 2. Model geometri plat kolektor bentuk V.



Gambar 3. Meshing kolektor termal plat datar bentuk V.

Pada tahap ini model kolektor termal *V-Shape* yang telah dibuat diberikan *meshing* dengan ukuran 3 mm, penentuan material berupa aluminium untuk kolektor dan kondisi batas. Kondisi batas tersebut berupa parameter konstan dan parameter variasi berdasarkan rancangan variabel yang dibuat menggunakan perangkat lunak perhitungan numerik CFD.

Percobaan dilakukan menggunakan *Reynold number*, Iradiasi matahari dan lebar plat berbentuk V variabel independen seperti ditampilkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Rancangan variasi percobaan

Variabel Independen	Level		
	1	2	3
Reynold Number	1500	3000	4500
Iradiasi (W/m ²)	1000	800	600
Lebar V-Shape (mm)	25	20	15

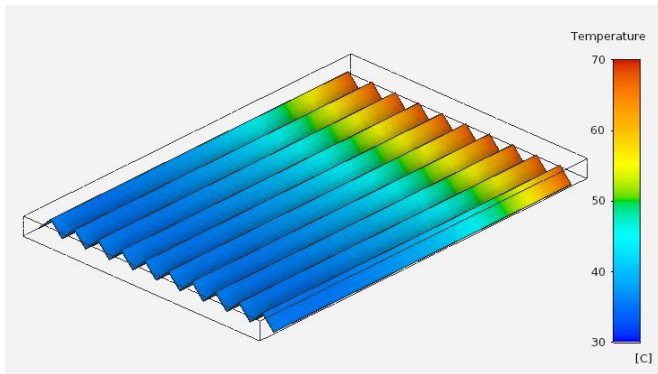
Dalam tahap ini, data berupa angka-angka hasil perhitungan numerik dengan *software* pemodelan fluida ditransformasikan menjadi bentuk diagram berupa temperatur udara keluar dan kecepatan aliran udara. Dari diagram tersebut diperoleh temperatur udara keluar terbaik pada setiap variasi geometri kolektor termal *V-Shape*.

Penelitian diawali dengan pemodelan kolektor termal *V-Shape* (bentuk V). Pemodelan meliputi panjang kolektor 550 mm, lebar kolektor 300 mm, dan sudut *V-Shape* yang adalah 90° serta variasi lebar *V-Shape* menjadi 25, 20, 15 mm. Parameter yang diterapkan pada model berupa kecepatan udara sebesar 0,545, 1,091, 1,635 m/s dan iradiasi matahari 1000, 800 dan 600 W/m² [12]. Kondisi batas berupa temperatur dapat dikalkulasi secara numerik dengan cukup akurat menggunakan persamaan energi[1]. Sementara untuk meminimalisir kesalahan dalam perhitungan numerik, sifat-sifat udara yang merupakan gas kompresibel berupa nilai densitas, konduktivitas termal, dan viskositas dihitung secara manual menggunakan tabel sifat sifat udara.

Ukuran *meshing* yang dijadikan model perhitungan sebesar 0,001 m dengan konfigurasi tetrahedral. Perhitungan dilakukan secara transien dengan rentang waktu 0 sampai dengan 10 detik. Jumlah langkah yang ditetapkan sebanyak 200 langkah dengan nilai konvergensi yang ditetapkan sebesar 0,001 untuk memperoleh hasil iterasi yang konvergen.

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan *set-up* pemodelan, analisis awal distribusi temperatur pada kolektor termal bentuk V dilakukan sesuai variasi variabel percobaan. Pertama, dilakukan percobaan dengan menggunakan lebar plat kolektor dengan lebar 25 mm. Dari hasil pemodelan dapat diketahui bahwa temperatur dari masuk sampai keluar kolektor terus mengalami kenaikan. Hasil pemodelan menggunakan lebar plat bentuk V dapat dilihat pada Gambar 4.



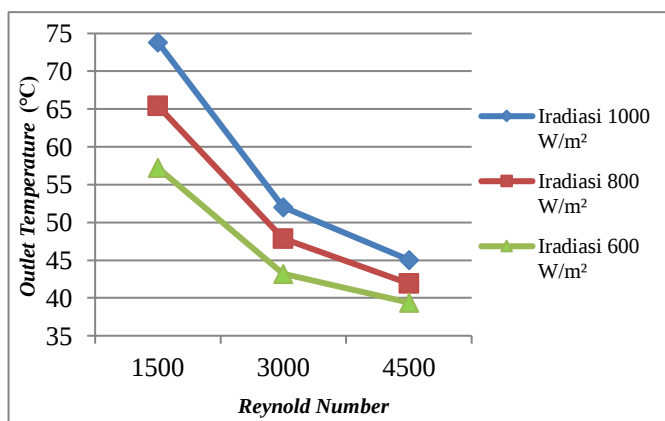
Gambar 4. Distribusi temperatur pada kolektor termal bentuk V dengan lebar 25 mm.

Dari hasil pemodelan dapat diketahui bahwa temperatur tertinggi terjadi pada pemodelan lebar *V-Shape* 25 mm ketika menggunakan iradiasi 1000 W/m² yaitu sebesar 73,86 °C. Hasil pemodelan dengan menggunakan lebar plat 25 mm secara menyeluruh dapat dilihat pada tabel 2.

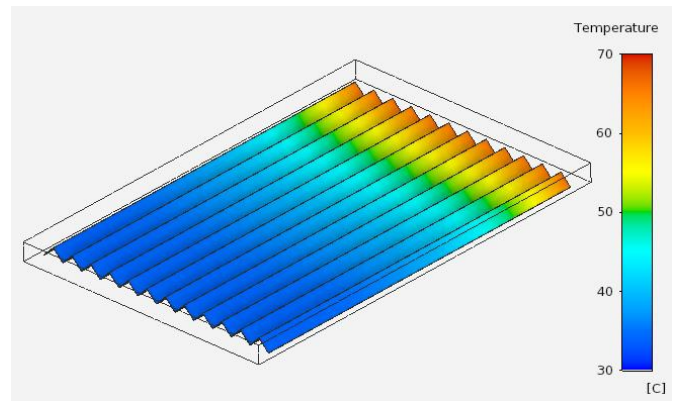
Tabel 2. Hasil simulasi pada lebar *V-Shape* 25 mm.

Reynold Number	Iradiasi (w/m ²)	Temperatur Outlet (°C)	Temperatur Surface (°C)
1500	1000	73,86	94,18
	800	65,42	81,22
	600	57,22	70,83
3000	1000	52,06	69,73
	800	47,83	62,59
	600	43,18	56,62
4500	1000	45,05	60,85
	800	41,91	54,59
	600	39,38	50,42

Kecepatan aliran udara masuk kolektor berpengaruh terhadap distribusi temperatur dalam kolektor. Terjadi penurunan temperatur keluar ketika kecepatan alir udara meningkat. Kondisi ini tergambarkan pada gambar 5 yang menampilkan grafik pengaruh kecepatan alir udara terhadap temperatur udara keluar.



Gambar 5. Grafik temperatur keluaran udara terhadap bilangan *reynold* pada lebar plat *V-Shape* 25 mm.

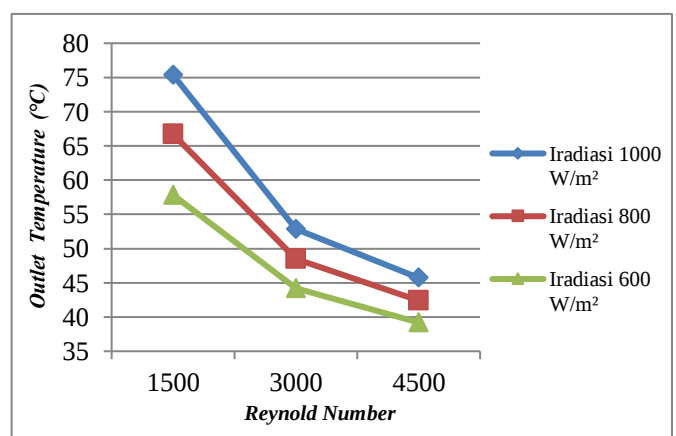


Gambar 6. Distribusi temperatur pada kolektor termal bentuk V dengan lebar 20 mm.

Perubahan kecepatan aliran masuk kolektor dan iradiasi memberikan pengaruh pada temperatur outlet. Pada pemodelan dengan iradiasi 1000 w/m² dan kecepatan aliran 0,545 m/s menghasilkan temperatur outlet paling signifikan yaitu, 75,382 °C. Hasil pemodelan dengan lebar plat 20 mm lebih lengkap dapat dilihat dalam tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi pada lebar *V-Shape* 20 mm.

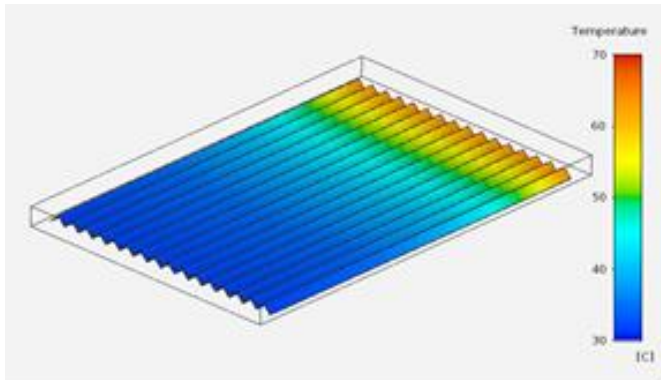
Reynold Number	Iradiasi (w/m ²)	Temperatur Outlet (°C)	Temperatur Surface (°C)
1500	1000	75,38	85,75
	800	66,72	73,25
	600	57,85	60,45
3000	1000	52,88	65,71
	800	48,52	56,49
	600	44,19	47,76
4500	1000	45,72	57,19
	800	42,41	50,07
	600	39,19	43,43



Gambar 5. Grafik temperatur keluaran udara terhadap bilangan *reynold* pada lebar plat *V-Shape* 20 mm.

Dari tabel 3. dapat diamati bahwa terjadi penurunan temperatur udara keluar sebesar 11,42% ketika radiasi 800 W/m² dan terjadi penurunan temperatur udara keluar sebesar 22,53% ketika radiasi 600 W/m² bila dibandingkan dengan radiasi 1000 W/m². Kondisi ini dapat terlihat pada gambar 7 di atas.

Terakhir, pemodelan distribusi temperatur dengan untuk lebar plat *V-Shape* 15 mm. pada pemodelan dengan lebar plat 15 mm ini juga menunjukkan adanya kenaikan temperature dari inlet menuju outlet model kolektor termal plat datar bentuk V. Hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Distribusi temperatur pada kolektor termal bentuk V dengan lebar 15 mm.

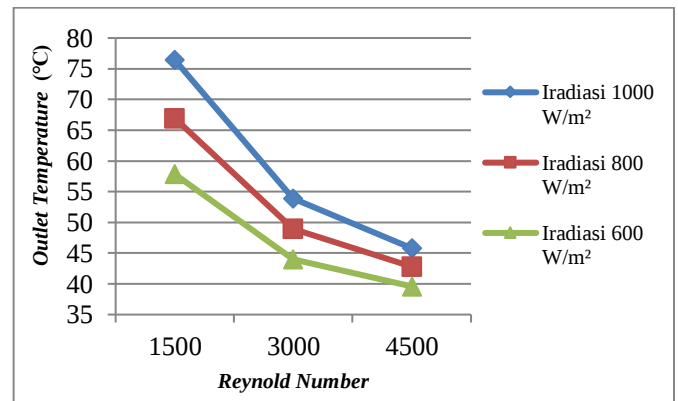
Analisis perubahan temperatur outlet dan *surface* akibat perubahan kecepatan aliran masuk pada kolektor termal bentuk V dengan lebar plat 15 mm ditunjukkan pada tabel 4. Pada semua pemodelan lebar plat 15 mm, dengan iradiasi yang sama menunjukkan semakin tinggi kecepatan aliran masuk kolektor semakin rendah temperatur *outlet* dan *surface*.

Tabel 4. Hasil simulasi pada lebar *V-Shape* 15 mm.

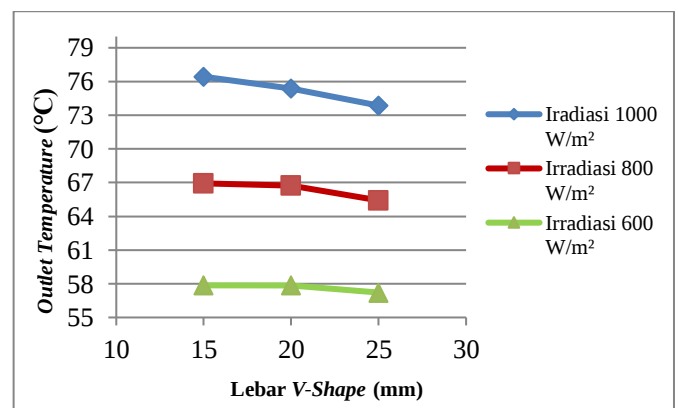
Reynold Number	Iradiasi (w/m ²)	Temperatur Outlet (°C)	Temperatur Surface (°C)
1500	1000	76,42	100,95
	800	66,93	86,11
	600	57,84	69,29
3000	1000	53,89	70,45
	800	48,98	61,76
	600	44,03	53,36
4500	1000	45,78	60,61
	800	42,78	54,09
	600	39,58	46,28

Pada pemodelan menggunakan lebar plat 15 mm menunjukkan keluaran udara tertinggi yang tercapai sebesar 76,42 °C pada iradiasi 1000 W/m². Semakin besar kecepatan aliran masuk pada iradiasi yang sama temperatur keluar kolektor (Temperatur *outlet*) semakin menurun. Temperatur keluar tertinggi adalah 76,42 °C yaitu pada kecepatan turun aliran masuk kolektor 0,545 m/s. Kemudian pada kecepatan aliran masuk 1,091, dan 1,635 m/s berturut-turut temperatur

keluar kolektornya turun 29% dan 15%. Analisis awal pengaruh kecepatan aliran udara masuk kolektor terhadap temperatur keluar kolektor lebih detail dapat dilihat pada gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Grafik temperatur keluaran udara terhadap bilangan *reynold* pada lebar plat *V-Shape* 15 mm.



Gambar 10. Grafik pengaruh lebar plat *V-Shape* terhadap temperatur keluaran udara.

Dari hasil analisis awal menggunakan *software* pemodelan fluida dengan tiga variasi lebar *V-Shape* diketahui semakin tinggi iradiasi matahari maka semakin tinggi temperatur udara keluar kolektor. Hasil ini terlihat pada gambar 10 yang menunjukkan grafik temperatur keluaran udara terhadap *V-Shape*.

4. Simpulan

Penelitian pendahuluan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi iradiasi dan semakin rendah laju aliran udara masuk kolektor akan meningkatkan temperatur permukaan dan temperatur *outlet* kolektor surya bentuk V. Temperatur paling rendah yang dihasilkan adalah 39,38 °C. Temperatur tersebut sudah cukup dimanfaatkan untuk energi skala rumah tangga. Penelitian pendahuluan ini layak dilanjutkan dengan eksperimen dan aplikasi pada teknologi pengeringan Industri Kecil Menengah dan Rumah Tangga.

Daftar Pustaka

- [1] Amrizal., Prabowo, D.P., Amrul., & Prayitno, H., 2023, "Effects of Fin Height, Fin Thickness and Reynolds Number on Heat Transfer Enhancement of Flat-Plate Thermal Collector: A Numerical Analysis". *CFD Letters*, 15(4), 53–63. <https://doi.org/10.37934/cfdl.15.4.5363>
- [2] Fudholi, Ahmad., & Sopian, Kamaruzzaman., 2019, "A review of solar air flat plate collector for drying application", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 102, Pages 333–345, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.032>
- [3] Kohol'e, Y.W., Fohagui, F.C.V., & Tchien, G., 2022, "Flat-plate solar collector thermal performance assessment via energy, exergy and irreversibility analysis", *Energy Conversion and Management: X* 15 (2022) 100247, <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100247>
- [4] Murugan, M., Saravanan, A., Elumalai, P.V., Kumar, P. C., Saleel, A., Samuel, O.D., Setiyo, M., & Christopher, C., 2022, "An overview on energy and exergy analysis of solar thermal collectors with passive performance enhancers", *Alexandria Engineering Journal* (2022) 61, 8123–8147, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.01.052>
- [5] Venkatesh, P.H.J., Tarun, M., Srinivas, K., G. Kumar, S., Amda, S., & Swapna, Y., 2023, "The experimental investigation of thermal conductivity of aluminum metal matrix composites", *Materials Today: Proceedings*, 2023, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.249>.
- [6] Yousif, M.F., & Theeb, M.A., 2023, A review of solar air collectors with baffles and porous medium: Type and applications", *al-qadisiyah journal for engineering sciences* 16 (2023) 037–041, <https://doi.org/10.30772/qjes.v16i1.841>
- [7] Desisa, D.G., & Shekata, G.D., 2020, "Performance Analysis of Flat-Plate and V-groove Solar Air", *Int. Journal of Renewable Energy Development* 9 (3) 2020: 369–381, <https://doi.org/10.14710/ijred.2020.30091>
- [8] Hussain, F., & Hasanuzzaman, Md., 2022, "Technologies for Solar Thermal Energy, Chapter 4 - Solar thermal collector, Academic Press, Pages 93-122, ISBN 9780128239599, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823959-9.00008-8>.
- [9] Kalogirou, S.A., 2004, "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science* 30 (2004) 231–295, <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2004.02.001>
- [10] Kumar, R., Nadda, R., Rana, A., Chauhan, R., & Chandel, S. S., 2019, "Performance investigation of a solar thermal collector provided with air jets impingement on multi V-shaped protrusion ribs absorber plate" *Heat and Mass Transfer*, <https://doi.org/10.1007/s00231-019-02755-2>
- [11] Kabeel, A. E., Khalil, A., Shalaby, S. M., & Zayed, M. E., 2016, "Investigation of the Thermal Performances of Flat, Finned, and V-Corrugated Plate Solar Air Heaters" *ASME: Journal of Solar Energy Engineering*.
- [12] Al-Neama, M.A., & Farkas, I., 2018, "Thermal efficiency of vertical and horizontal finned solar collector integrated with forced air circulation dryer for Apple as a sample" *Drying Technology*, 37:5, 546–558 <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1488260>.