

EVALUASI KINERJA KOLEKTOR PELAT DATAR DENGAN BERBAGAI MODEL TUBE KOLEKTOR SEBAGAI PEMANAS AIR SURYA AKTIF

Nicolas Titahelu¹, Cendy S. E. Tupamahu² dan Sefnath J. E. Sarwuna³

¹ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: titahelun@gmail.com

² Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: tupamahucendy@gmail.com

³ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: etwansarwuna@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini akan mengkaji konfigurasi model *tube* kolektor plat datar untuk meningkatkan efisiensi kolektor plat datar sehingga kelangkaan air bersih dapat diatasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model *tube* kolektor pelat datar yang dapat meningkatkan efisiensi termal kolektor. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi berdasarkan data pengukuran eksperimental, yang mengarah pada validasi efisiensi penelitian saat ini dengan penelitian sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan efisiensi dengan memvariasikan laju aliran massa dari 1232.217 menjadi 6161.083 kg/s untuk kedua model *tube* kolektor pelat datar. Efisiensi kolektor terbesar terdapat pada laju aliran massa sebesar 6161.083 kg/s, masing-masing untuk model *tube* paralel sebesar 46,51% dan model *tube* serpentin sebesar 48,67%. Sedangkan efisiensi kolektor terendah adalah pada laju aliran massa 1232,217 kg/s masing-masing sebesar 42,08% dan 36,66%. Disimpulkan bahwa model *tube* paralel harus dioperasikan dengan laju aliran massa kurang dari 3696.433 kg/s dan model *tube* serpentine dengan laju aliran massa lebih besar dari 3696.433 kg/s.

Kata kunci: Kolektor pelat datar, model *tube* kolektor, pelat absorber, pemanas air surya.

Abstract. This study will examine the configuration of the flat plate collector tube model to increase the efficiency of the flat plate collector so that the scarcity of fresh water can be overcome. This research aims to get a flat plate collector tube model that can increase the thermal efficiency of the collector. The research was conducted using a simulation method based on experimental measurement data, which led to the validation of the efficiency of the current study with previous research. The results showed an increase in efficiency by varying the mass flow rate from 1232.217 to 6161.083 kg/s for both models of flat plate collector tubes. The largest collector efficiency is at a mass flow rate of 6161,083 kg/s, respectively for the parallel tube model of 46.51% and the winding tube model of 48.67%. On the other hand, the lowest collector efficiency is at a mass flow rate of 1232.217 kg/s for 42.08% and 36.66%, respectively. It was concluded that the parallel tube model should be operated with a mass flow rate of fewer than 3696,433 kg/s and the serpentine tube model with a mass flow rate greater than 3696,433 kg/s.

Keywords: Flat plate collector, collector tube model, absorber plate, solar water heater

1. PENDAHULUAN

Hampir 75% permukaan bumi ditutupi oleh air dan hanya 0,014% air yang layak dikonsumsi manusia, dimana sebagian besar air yang ada berupa air laut payau yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung [1]. Kelangkaan air tawar bersih berada pada tahap kritis yang akan berdampak buruk pada

sektor pertanian, industri dan yang terpenting bagi kelangsungan hidup dan pembangunan manusia [2]. Perkembangan dunia meningkatkan kebutuhan manusia juga meningkat, hal ini menyebabkan meningkatnya permintaan yang akan berdampak habisnya sumber daya air dan sumber daya lainnya [3].

Memproduksi air tawar dengan sumber energi terbarukan bisa menjadi solusi yang cocok untuk masalah kekurangan air, karena tidak meningkatkan konsumsi bahan bakar fosil dan polusi [4]. Energi surya adalah salah satu energi terbarukan yang merupakan sumber energi bebas tak terbatas yang dapat dimanfaatkan dalam kebutuhan energi masa depan tanpa mempengaruhi atmosfer [5]. Destilasi surya adalah metode yang murah dan menjanjikan untuk aplikasi desalinasi, dimana radiasi matahari ditransmisikan melalui kaca penutup dan diserap oleh isolator berwarna gelap. Energi panas ini kemudian ditransmisikan ke air. Air juga menerima energi panas melalui mekanisme perpindahan kalor konveksi dan radiasi. Uap air mengembun pada permukaan bagian dalam penutup kaca yang miring dan menetes ke bawah menuju wadah destilat [6].

Dalam pemanfaatan energi surya untuk pemanasan air sebelum digunakan untuk berbagai kebutuhan, dapat menggunakan berbagai cara salah satunya penggunaan kolektor plat datar. Pada kolektor pelat datar, pada umumnya terdapat beberapa masalah seperti retakan beku dan panas berlebih untuk waktu yang lama [7]. Di hari cerah, radiasi matahari intens, dan jika cuaca terus cerah, kolektor pelat datar akan menyerap banyak energi, yang dapat dengan mudah menyebabkan pengotoran pipa dan sistem yang terlalu panas. Pada malam hari, sirkulasi cairan yang digunakan dalam kolektor sangat mudah membeku di bawah suhu lingkungan yang rendah kondisi [8]. Ketika air membeku, volumenya mengembang, dan akan menghasilkan gaya yang sangat besar pada dinding cairan pipa, menyebabkan kerusakan pada kolektor.

Selain masalah teknis di atas, masalah kritis dalam penggunaan kolektor plat datar sebagai pemanas air surya adalah efisiensi dari kolektor plat datar tersebut. Menurut [5] ada kemungkinan bahwa efisiensi kolektor plat datar dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan struktur kolektor plat datar tersebut atau mengembangkan jenis baru fluida kerja. Saat ini, air digunakan secara luas sebagai media kerja dalam sistem pemanas air surya pelat datar konvensional. Tetapi karakteristik termal air sangat buruk sehingga peningkatan kinerja tidak dapat ditingkatkan ke tingkat yang memuaskan.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, efisiensi dari kolektor plat datar sebagai pemanas air surya masih dapat dioptimalkan lagi dengan mendesain beberapa model *tube* dan memvariasikan laju aliran massa untuk mendapatkan konfigurasi yang paling optimal dalam rangka meningkatkan efisiensi kolektor plat datar.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Alat Penelitian

Penelitian simulasi ini menggunakan Solidworks 2018 untuk merancang model *tube*. Studi numerik dijalankan pada PC-Desktop Windows 10 Pro 64bit dengan spesifikasi prosesor Intel® Core™ i7-7700 @3,60GHz (8 CPUs) dan 8192MB RAM.

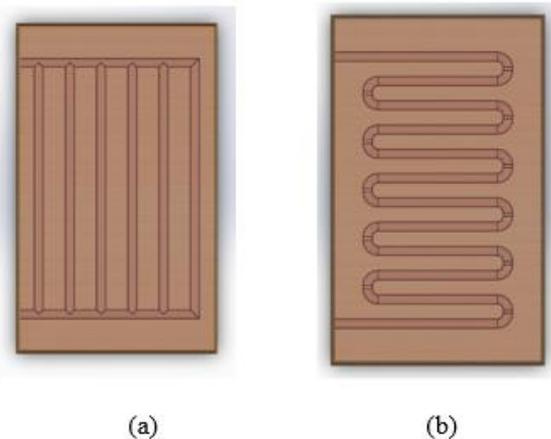
2.2. Model

Pada penelitian ini akan dirancang model tube dengan konstruksi sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Laju Aliran Massa dan Model Pipa

Diameter Pipa (cm)	Model Pipa	Laju aliran massa fluida
2,54	Paralel (Pr)	1 Lpm = 1232,217 Kg/s
		2 Lpm = 2464,433 Kg/s
		3 Lpm = 3696,65 Kg/s
		4 Lpm = 4928,867 Kg/s
		5 Lpm = 6161,083 Kg/s
2,54	Serpentine (Sr)	1 Lpm = 1232,217 Kg/s
		2 Lpm = 2464,433 Kg/s
		3 Lpm = 3696,65 Kg/s
		4 Lpm = 4928,867 Kg/s
		5 Lpm = 6161,083 Kg/s

Dari Tabel 1. dijelaskan dua model *tube* dan kelima variasi laju aliran massa pada penelitian ini. Selain itu terdapat diameter *tube* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Model geometri *tube*. (a) model parallel dan (b) model serpentine.

2.3 Material

Pada penelitian ini akan ditentukan material *tube* kolektor dan pelat *absorber* yang digunakan, dimana menggunakan material tembaga. Data properties tembaga ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Material Propertis Tembaga

Propertis	Nilai
Specific heat	390.0 J/(kg*K)
Conductivity type	Isotropic
Thermal conductivity	390.0000 W/(m*K)
Electrical conductivity	Dielectric
Density	8900.00 kg/m ³

2.4 Data Reduksi

Kondisi operasi *steady state*, kinerja kolektor surya digambarkan oleh keseimbangan energi yang mana menunjukkan distribusi energi matahari digunakan menjadi energi yang berguna, kerugian termal, dan rugi-rugi optik. Radiasi matahari yang diserap oleh kolektor per satuan luas penyerap *S* adalah sama dengan perbedaan antara radiasi matahari yang datang dan rugi-rugi optik seperti yang didefinisikan dengan persamaan (1). Energi panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan dengan konduksi, konveksi, dan radiasi inframerah dapat direpresentasikan sebagai produk dari panas koefisien transfer *U_L* kali perbedaan antara suhu pelat penyerap rata-rata *T_{pm}* dan suhu lingkungan *T_a*. Dalam keadaan *steady state*, keluaran energi yang berguna dari sebuah luasan area kolektor *A_c* adalah perbedaan antara radiasi matahari yang diserap dan kehilangan panas. Menurut [9] keseimbangan energi pada kolektor ditunjukkan dengan persamaan berikut;

$$I_s(\tau_c \alpha_p) A_c = Q_u + Q_l \tag{1}$$

Untuk panas berguna yang diperoleh dari kolektor (*Q_u*) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut;

$$Q_u = A_c [S - U_t (T_{pm} - T_a)] \tag{2}$$

Fluks matahari yang diserap kolektor (*S*) dapat dihitung dengan;

$$S = I_s(\tau_c \alpha_p) A_c \tag{3}$$

Untuk menghitung panas yang hilang dari pelat penyerap ke atmosfer (*Q₁*) menggunakan persamaan berikut;

$$Q_1 = U_t A_c (T_{pm} - T_a) \tag{4}$$

Menurut [9] efisiensi kolektor (η_c) dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$\eta_c = \frac{Q_w}{S \cdot A_p} \tag{5}$$

dimana, *Q_w* merupakan energi panas absorber melalui air dihitung dengan memanfaatkan persamaan [10]:

$$Q_w = m_w C_w (T_0 - T_i) = \rho \cdot v \cdot C_w (T_0 - T_i) \tag{6}$$

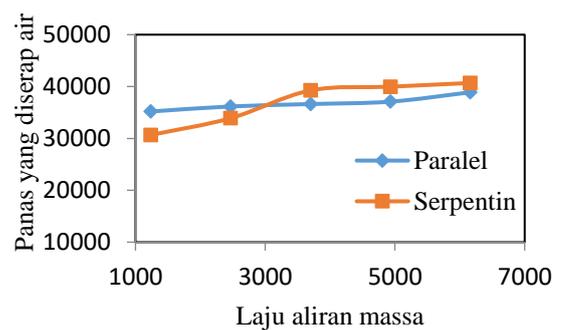
Untuk menghitung efisiensi sesaat dari kolektor (η) dihitung dengan memanfaatkan persamaan [11];

$$\eta = \frac{m_w C_w (T_0 - T_i)}{A_p I_s} \tag{7}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Panas yang diserap air (*Q_w*)

Hasil analisis simulasi kelima variasi laju aliran massa untuk kedua model *tube* kolektor memperlihatkan bahwa meningkatnya laju aliran massa untuk model *tube* paralel dan serpentine akan berpengaruh pada peningkatan jumlah panas yang diserap air (*Q_w*) dari kolektor pelat datar. Seperti disajikan dalam Gambar 2, nampak bahwa pada peningkatan laju aliran massa, model *tube* serpentin menunjukkan peningkatan nilai jumlah panas yang diserap air (*Q_w*) sangat signifikan dengan nilai jumlah panas yang diserap air (*Q_w*) tertinggi pada laju aliran massa 6161,083 kg/s sebesar 40686,047 W.

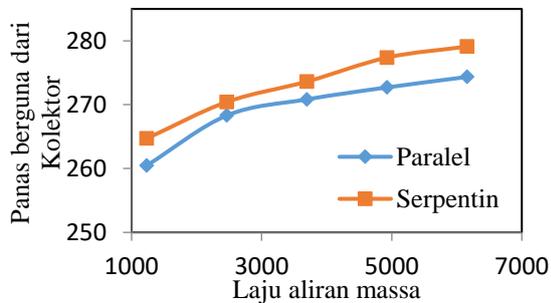


Gambar 2. Grafik panas yang diserap air.

Sementara, untuk model *tube* paralel menunjukkan peningkatan pula namun tidak signifikan dengan nilai jumlah panas yang diserap air (*Q_w*) sebesar 38882,423 W. Jumlah panas yang diserap air (*Q_w*) terendah berada pada model *tube* serpentin dengan laju aliran massa 1232,217 kg/s sebesar 30647,144 W. Nampak bahwa pada laju aliran massa lebih kecil dari 3696,65 kg/s jumlah panas yang diserap air (*Q_w*) model *tube* paralel lebih

baik dari model *tube* serpentin.

Panas berguna yang diperoleh dari kolektor (Q_u)



Gambar 3. Grafik panas berguna yang diperoleh kolektor

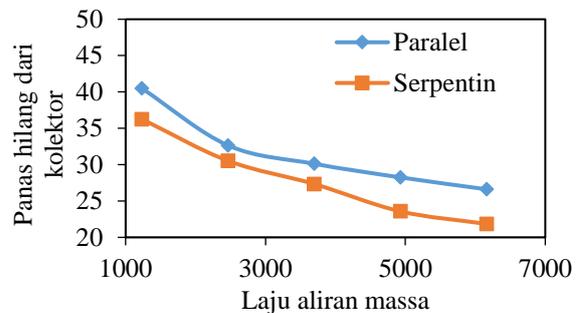
Hasil analisis simulasi kelima variasi laju aliran massa untuk kedua model *tube* kolektor memperlihatkan bahwa semakin meningkat laju aliran massa akan berpengaruh terhadap meningkatnya panas berguna yang diperoleh dari kolektor untuk kedua model *tube* paralel maupun serpentin. Nampak bahwa semakin meningkat laju aliran massa maka model *tube* serpentin lebih baik dari model *tube* paralel, seperti disajikan dalam Gambar 3.

Nampak pada Gambar 3, bahwa semakin meningkat laju aliran massa untuk kedua model menunjukkan jumlah panas berguna yang diperoleh dari kolektor tertinggi pada laju aliran massa 6161,083 kg/s masing-masing untuk model *tube* serpentin sebesar 279,12 W dan model *tube* paralel sebesar 274,35 W. Sedangkan jumlah panas berguna yang diperoleh kolektor pada laju aliran massa terendah yakni 1232,217 kg/s masing-masing untuk model *tube* serpentin sebesar 264,71 W dan model *tube* paralel sebesar 260 W.

3.2. Panas hilang dari pelat absorber ke atmosfer (Q_1)

Hasil analisis simulasi kelima variasi laju aliran massa untuk kedua model *tube* kolektor memperlihatkan bahwa semakin meningkat laju aliran massa akan berpengaruh pada penurunan jumlah panas yang hilang dari kolektor ke atmosfer (Q_1). Seperti disajikan dalam Gambar 4 nampak bahwa pada meningkatnya laju aliran massa, model *tube* paralel terjadi kehilangan panas dari pelat absorber ke atmosfer lebih besar dari model *tube* serpentin. Terjadi kehilangan panas dari pelat absorber ke atmosfer tertinggi pada laju aliran massa 1232,217 kg/s untuk kedua model *tube*, masing-

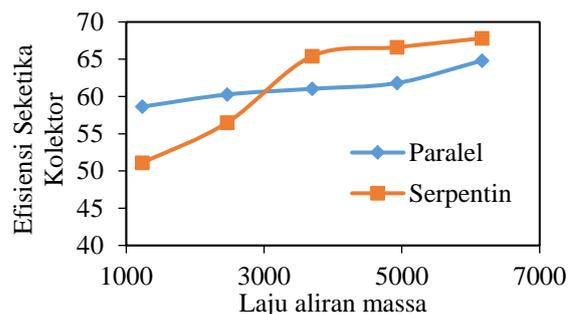
masing untuk *tube* paralel sebesar 40,49 Q dan *tube* serpentin sebesar 36,25 W. Sebaliknya kehilangan panas dari pelat absorber ke atmosfer terendah pada laju aliran massa 6161,083 kg/s untuk kedua model *tube* masing-masing model *tube* paralel sebesar 26,61 W dan model *tube* serpentine sebesar 21,84 W.



Gambar 4. Grafik panas hilang dari pelat penyerap ke atmosfer

Efisiensi sesaat (η)

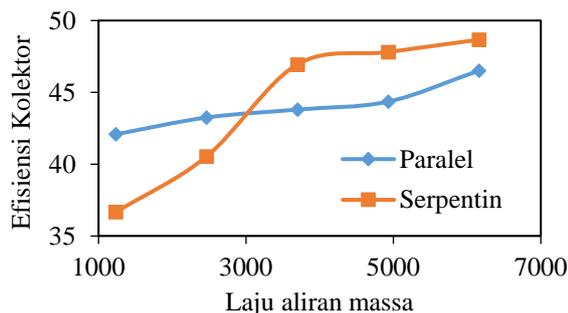
Hasil analisis simulasi kelima variasi laju aliran massa untuk kedua model *tube* kolektor memperlihatkan bahwa meningkatnya laju aliran massa untuk model *tube* paralel dan serpentin akan berpengaruh pada peningkatan nilai efisiensi sesaat dari kolektor (η). Seperti disajikan dalam Gambar 5, nampak bahwa pada peningkatan laju aliran massa, model *tube* serpentin menunjukkan peningkatan nilai efisiensi sesaat dari kolektor (η) sangat signifikan dengan nilai efisiensi sesaat dari kolektor (η) tertinggi pada laju aliran massa 6161,083 kg/s sebesar 67,81 %. Sedangkan untuk model *tube* paralel menunjukkan peningkatan pula namun tidak signifikan dengan nilai efisiensi sesaat dari kolektor (η). Efisiensi sesaat terendah berada pada model serpentin dengan laju aliran massa 1232,217 kg/s sebesar 51,08 %. Nampak bahwa pada laju aliran massa lebih kecil dari 3696,65 kg/s efisiensi sesaat model paralel lebih baik dari model serpentin.



Gambar 5. Grafik efisiensi sesaat kolektor

3.3. Efisiensi kolektor (η_c)

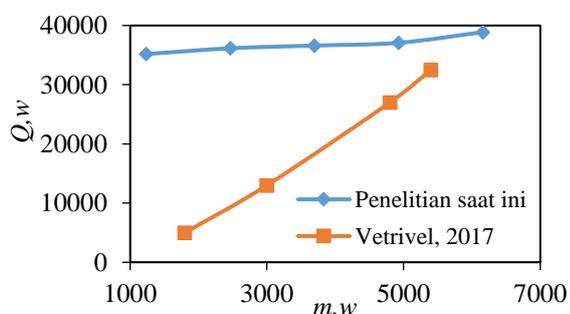
Hasil analisis simulasi kelima variasi laju aliran massa untuk kedua model *tube* kolektor memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya laju aliran massa untuk model *tube* paralel dan serpentin akan berpengaruh pada peningkatan nilai efisiensi kolektor (η_c). Seperti disajikan dalam Gambar 6, nampak bahwa dengan peningkatan laju aliran massa, model *tube* serpentin menunjukkan peningkatan nilai efisiensi kolektor (η_c) sangat signifikan dengan nilai efisiensi kolektor (η_c) tertinggi pada laju aliran massa 6161,083 kg/s sebesar 48,67 %. Demikian pula model *tube* paralel menunjukkan peningkatan nilai efisiensi kolektor dengan tidak signifikan pada laju aliran massa tertinggi 6161,083 kg/s sebesar 46,51 %. Nampak bahwa efisiensi kolektor terbaik pada model tube serpentin untuk laju aliran massa lebih besar dari 3696,433 kg/s, sedangkan untuk laju aliran massa lebih kecil dari 3696,433 kg/s model tube paralel yang terbaik.



Gambar 6. Grafik efisiensi kolektor.

3.4. Validasi Kolektor Pelat Datar

Validasi dilakukan untuk menguji data hasil simulasi dengan penelitian terdahulu yang dilakukan secara eksperimental, disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik validasi kolektor pelat datar model tube paralel.

Penelitian [9] menggunakan model paralel pada *tube* kolektor, sehingga untuk validasi data hasil

simulasi dan hasil eksperimen terdahulu, maka akan menggunakan parameter-parameter pada model yang sama. Parameter yang digunakan untuk validasi terhadap hasil eksperimen yakni panas yang diserap oleh air (Q_w).

Nampak pada Gambar. 7 bahwa hasil kajian penelitian terdahulu untuk panas yang diserap air (Q_w) dengan penelitian saat ini terdapat perbedaan gradien grafik yang cukup signifikan dengan penelitian saat ini. Hal ini disebabkan oleh penentuan waktu ke-n dalam setahun yang berbeda, konstruksi kolektor plat datar yang berbeda, dan geometri tube kolektor yang berbeda. Penentuan hari ke-n dalam setahun yang berbeda menyebabkan radiasi energi surya pun berbeda yang berdampak pada panas yang diserap air pun berbeda. Demikian pula konstruksi dan geometri kolektor pelat datar yang berbeda akan berdampak pada luasan penyerapan panas yang berdampak pada panas yang diserap air.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian kolektor pelat datar dengan beberapa model *tube* kolektor, disimpulkan bahwa model *tube* serpentin lebih baik dioperasikan dengan laju aliran massa lebih besar dari 3696,433 kg/s akan meningkatkan karakteristik kolektor pelat datar dan model tube paralel lebih baik dioperasikan dengan laju aliran massa lebih kecil dari 3696,433 kg akan meningkatkan karakteristik kolektor pelat datar.

DAFTAR NOTASI

- v : Volume of water collected (m^3)
- m_w : Mass flow rate (kg/sec)
- c_w : Specific heat of water (J/kg K)
- ρ : Density of water (kg/m^3)
- T_o : Outlet temperature of water ($^{\circ}C$)
- T_i : Inlet temperature of water ($^{\circ}C$)
- η : Instantaneous efficiency (%)
- η_c : Collector efficiency (%)
- I : Solar intensity (W/m^2)
- τ_c : Transmittance of the cover
- α_p : Absorptivity of the absorber plate
- Q_u : Useful heat gain (W)
- Q_l : Rate of heat loss from collector (W)
- Q_w : Heat energy absorbed by water (W)
- A_c : Collector Area of the collector (m^2)
- A_p : Aperture area of the collector (m^2)
- S : Solar flux absorbed by collector (W)
- U_t : Overall top loss heat transfer coefficient ($W/m^2 K$)
- T_{pm} : Absorber plate mean temperature ($^{\circ}C$)
- T_a : Ambient temperature ($^{\circ}C$)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. E. Kabeel, “Performance of solar still with a concave wick evaporation surface,” *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1504–1509, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2009.06.050.
- [2] S. S. Narayanan, A. Yadav, and M. N. Khaled, “A concise review on performance improvement of solar stills,” *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 3, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2291-5.
- [3] Y. Taamneh, A. M. Manokar, M. M. Thalib, A. E. Kabeel, R. Sathyamurthy, and A. J. Chamkha, “Extraction of drinking water from modified inclined solar still incorporated with spiral tube solar water heater,” *J. Water Process Eng.*, vol. 38, no. September, p. 101613, 2020, doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101613.
- [4] P. Rahdan, A. Kasaeian, and W. M. Yan, “Simulation and geometric optimization of a hybrid system of solar chimney and water desalination,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 243, no. May, p. 114291, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114291.
- [5] P. Michael Joseph Stalin, T. V. Arjunan, M. M. Matheswaran, and N. Sadanandam, “Experimental and theoretical investigation on the effects of lower concentration CeO₂/water nanofluid in flat-plate solar collector,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 135, no. 1, pp. 29–44, 2019, doi: 10.1007/s10973-017-6865-4.
- [6] A. K. Tiwari and G. N. Tiwari, “Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths,” *Desalination*, vol. 207, no. 1–3, pp. 184–204, 2007, doi: 10.1016/j.desal.2006.07.011.
- [7] H. Kessentini, J. Castro, R. Capdevila, and A. Oliva, “Development of flat plate collector with plastic transparent insulation and low-cost overheating protection system,” *Appl. Energy*, vol. 133, pp. 206–223, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.07.093.
- [8] M. Smyth, P. C. Eames, and B. Norton, “Evaluation of a freeze resistant integrated collector/storage solar water-heater for northern Europe,” *Appl. Energy*, vol. 68, no. 3, pp. 265–274, 2001, doi: 10.1016/S0306-2619(00)00049-0.
- [9] H. Vetrivel and P. Mathiazhagan, “Comparison study of solar flat plate collector with single and double glazing systems,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 267–274, 2017, doi: 10.20508/ijrer.v7i1.5397.g6985.
- [10] M. M. Marmoush, H. Rezk, N. Shehata, J. Henry, and M. R. Gomaa, “A novel merging Tubular Daylight Device with Solar Water Heater – Experimental study,” *Renew. Energy*, vol. 125, pp. 947–961, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.03.031.
- [11] D. Wang, X. Wang, Y. Chen, W. Kang, and Y. Liu, “Experimental study on performance test of serpentine flat plate collector with different pipe parameters and a new phase change collector,” *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 738–743, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.197.