



OPTIMIZATION OF TUBULAR SOLAR DISTILLATION PERFORMANCE WITH NANO-PCM AND PARABOLIC TROUGH COLLECTOR

M. Seftian Amanda¹, Muhammad Amin^{2,*}, Teuku Azuar Rizal³

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh

^{2,3)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 11 Oktober 2024

Direvisi dari 25 November 2024

Diterima 28 Desember 2024

Dipublikasi 30 Desember 2024

Keyword's:

Distilasi surya, beeswax, graphene, parabolic trough collector

DOI:

doi.org/10.55377/jurutera.v1i102.11148

ABSTRACT

Solar distillation is a desalination method that utilizes solar energy to convert saline water into freshwater. However, the efficiency of this process is often limited by temperature fluctuations and low heat storage capacity. Phase Change Material (PCM) has been used as a thermal storage medium in solar distillation systems, but the low thermal conductivity of pure PCM remains a major challenge. To address this limitation, this study incorporates graphene carbon nanoparticles into beeswax-based PCM to enhance its thermal properties. This research examines the effect of adding 0.3% graphene to beeswax PCM on the performance of a tubular solar distillation system equipped with a Parabolic Trough Collector (PTC). The experiment compares the performance of pure PCM and nano-PCM, each weighing 90 grams and enclosed in an aluminum foil bag. The experimental results indicate that the addition of graphene to beeswax PCM improves solar distillation performance based on three key parameters, namely temperature, productivity, and efficiency. Nano-PCM achieved a maximum temperature of 76 °C, representing a 2.7% increase compared to pure PCM. In terms of productivity, the distilled water yield of nano-PCM was recorded at 0.834 L/m² on October 15, 2024, and 0.819 L/m² on October 17, 2024, marking an increase of 3.22% and 6.64%, respectively, compared to pure PCM. Furthermore, the system's efficiency also improved with an increase of 3.03% on October 15, 2024, and 6.7% on October 17, 2024. Overall, this study demonstrates that the use of nano-PCM enhances the performance of solar distillation, particularly in terms of operating temperature, water productivity, and system efficiency. These findings highlight the significant potential of nano-PCM applications in large-scale solar distillation systems to improve freshwater production efficiency.

© 2024 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Krisis air tawar dan kebutuhan akan solusi pengelolaan air yang terjangkau menjadi tantangan global, termasuk di Indonesia [1]. Distilasi surya yang memanfaatkan energi matahari untuk mengubah air asin menjadi air tawar, dapat ditingkatkan produktivitasnya dengan penggunaan *Phase Change Material* (PCM) sebagai penyimpan energi termal [2]. PCM memiliki panas laten tinggi, memungkinkan distilasi mempertahankan suhu optimal meskipun intensitas matahari berubah. Penggunaan 14 kg lilin lebah dalam distilasi surya dengan *parabolic dish collector* meningkatkan produktivitas

hingga 62% [3]. Penelitian lain dengan konsentrator setengah bola dan parafin dalam bola tembaga berdiameter 28 mm mencatat peningkatan produktivitas dari 3520 ml/m²/hari menjadi 4460 ml/m²/hari [4]. Namun, kendala utama PCM adalah konduktivitas termal yang rendah, sehingga penambahan nanopartikel diperkenalkan sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi sistem.

Penambahan nanopartikel dalam PCM terbukti meningkatkan konduktivitas termal dan efisiensi penyimpanan energi. Graphene dan MWCNT meningkatkan konduktivitas PCM hingga 124% meski menurunkan entalpi perubahan fase [5]. Parafin dengan nanopartikel tembaga (Cu) meningkatkan konduktivitas hingga 46,3% dan mengurangi *supercooling* [6]. Silikon

* Corresponding author.

E-mail address: muhammadamin@unsam.ac.id

© 2024 ISSN. 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

karbida dalam Sodium Asetat Trihidrat meningkatkan transfer panas meskipun menurunkan kapasitas energi [7]. Nano-PCM berbasis graphene nanoplatelets (GNP) meningkatkan efisiensi listrik sistem PV/T hingga 22% [9] serta meningkatkan konduktivitas *beeswax* hingga 2,89 W/m.K dengan kenaikan kalor laten 22,32% [10].

Berbagai penelitian telah mengkaji peningkatan kinerja distilasi surya dengan nano-PCM. Penambahan *Graphene Oxide Nanoparticles* (GONPs) dalam PCM meningkatkan konduktivitas termal hingga 52% dan produktivitas air sebesar 41,3%, dengan efisiensi harian mencapai 50,85% meski tanpa konsentrator matahari [11]. Penggunaan nanopartikel C_{60} dan Al_2O_3 dalam PCM meningkatkan efisiensi energi harian hingga 55,8%, tetapi tidak membahas pengaruh wadah air umpan terhadap efisiensi sistem [12]. Penelitian lain menunjukkan bahwa *graphene oxide* (GO) dalam parafin dapat meningkatkan produktivitas distilasi surya hingga 25% dibandingkan PCM biasa [13].

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja distilasi surya berbentuk tabung dengan penggunaan nano-PCM dan kolektor palung parabola sebagai teknologi sistem terkonsentrasi. Dua tabung digunakan, satu dengan PCM dan satu dengan nano-PCM. Analisis meliputi suhu PCM dan nano-PCM, produktivitas distilasi, serta efisiensi alat. Hasil kajian ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan teknologi desalinasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

2. Materi dan Metode

Tempat dan Waktu Penelitian

Pengujian dilakukan selama dua hari, yaitu pada 15 dan 17 Oktober 2024, di Universitas Samudra, Langsa, Aceh, dengan kondisi cuaca cerah. Proses berlangsung dari pukul 09.00 hingga 20.00 WIB dan dilanjutkan hingga malam hari untuk memastikan PCM dan nano-PCM kembali ke suhu normal.



Gambar 1. Alat distilasi surya
(Sumber: Foto Penelitian)

Alat dan Bahan Penelitian

Alat distilasi surya yang digunakan dalam penelitian ini (Gambar 1) terdiri dari palung parabola berbahan

aluminium sebagai konsentrator radiasi matahari serta tabung distilasi kaca berdiameter 5 inci untuk proses penguapan.

Tabel 1. Sifat properties *beeswax* [2]

Parameter	Nilai
Titik leleh	61,8 °C
Temperatur perubahan warna	85 °C
Titik nyala	204,4 °C
Rapat jenis	0,970 g/cm ³
Warna	Kuning

Talang air asin sepanjang 40,4 cm digunakan bersama pembungkus PCM dan nano-PCM yang dikemas dalam *aluminium foil bag* berukuran 40 cm × 15 cm dengan ketebalan 200 µm. Struktur alat didukung oleh tiang dan kaki penyangga berbahan pipa besi serta paralon berdiameter 3 dan 4 inci untuk menjaga kestabilan. Sistem penggerak palung parabola dilengkapi dengan *pillow block* guna memastikan pergerakan optimal.

Tabel 2. Sifat properties *graphene* [14]

Parameter	Nilai
Ketebalan	0,55-3,8 nm
Luas permukaan	50-100 m ² /g
Konduktivitas termal	~5000 W/m. K

Bahan penelitian terdiri dari air asin sebanyak 1,5 liter per tabung yang diambil dari pesisir Kuala Langsa, Aceh, serta PCM berbasis lilin lebah (*beeswax*) diperlihatkan pada Tabel 1. dengan total massa 90 gram. PCM dipanaskan hingga 200 °C untuk mempercepat pencairan. Nano-PCM disiapkan dengan mencampurkan graphene 0,3% dengan sifat properties pada Tabel 2. berat ke dalam 90 gram PCM, kemudian dicampur menggunakan metode ultrasonikasi dengan gelombang suara frekuensi tinggi selama 180 menit pada suhu 72 °C untuk memastikan dispersi homogen tanpa pengerasan material.

PCM dan nano-PCM yang telah disintesis dimasukkan ke dalam *aluminium foil bag* berukuran 40 cm × 15 cm, yang dibagi menjadi 9 kompartemen berukuran 5 cm × 14 cm. Salah satu kompartemen dilengkapi termokopel untuk pemantauan suhu selama proses distilasi. *Aluminium foil bag* disegel rapat guna mencegah kebocoran dan ditempatkan pada talang tembaga, kemudian dijepit untuk menjaga kontak termal optimal selama pengujian.

Tabel 3. Deskripsi instrumen pengukuran dan parameter dalam penelitian [15]

Parameter	Satuan	Alat ukur	Tipe	Akurasi alat	Rentang nilai
Intensitas radiasi matahari (I_r)	W/m ²	Pyranometer	Sentec (SEM228A)	±2%	0~1800 W/m ²
Temperatur lingkungan (T_a)	°C	Termokopel	Tipe K	±0,1%	- 270~1260 °C
Temperatur air	°C	Termokopel	Tipe K	±0,1%	- 270~1260 °C
Temperatur PCM & Nano-PCM	°C	Termokopel	Tipe K	±0,1%	- 270~1260 °C
-	-	Agilent	34970 A	±0,2%	-
-	-	Komputer	Free	-	-

Metode Eksperimen Dan Sistem Pengukuran

Data yang dikumpulkan mencakup temperatur PCM, nano-PCM, air asin, air tawar, lingkungan, intensitas radiasi matahari, jumlah air tawar yang dihasilkan, serta durasi distilasi. Pengukuran suhu dilakukan dengan termokopel, sementara intensitas radiasi matahari dipantau untuk memastikan keakuratan data. Instrumen pengukuran pada tabel 3.

Analisis difokuskan pada perbandingan temperatur PCM dan nano-PCM, produktivitas air tawar, serta efisiensi alat distilasi, yang dihitung berdasarkan energi matahari yang dikonversi menjadi air tawar. Hasil penelitian ini diharapkan menunjukkan bahwa nano-PCM meningkatkan stabilitas suhu, produktivitas air tawar, dan efisiensi sistem dibandingkan PCM biasa.

Efisiensi alat distilasi dihitung menggunakan persamaan 1 [16].

$$\eta_{total} = \sum \frac{m \times hfg}{I_r \times A_{abs} \times \Delta t} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

m : Massa air hasil distilasi (kg)
 hfg : Panas laten penguapan air (J/kg)
 I_r : Intensitas radiasi matahari (W/m²)
 A_{abs} : Luas penampang talang (0,06447 m²)
 Δt : Durasi waktu pengukuran (s)

Untuk menghitung hfg mengikuti persamaan 2 [11][15].

$$hfg = 10^3 x [2501,9 - 2,40706T_w + 1,192217x10^{-3}T_w^2 - 1,5863x10^{-5}T_w^3] \dots \dots \dots (2)$$

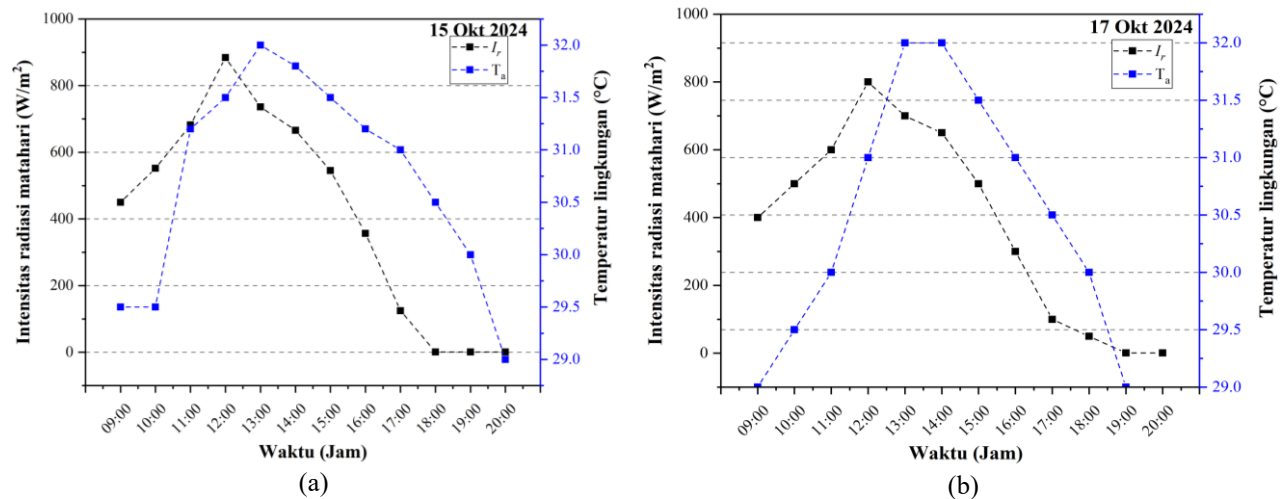
3. Hasil dan Pembahasan

Temperatur PCM dan Nano-PCM

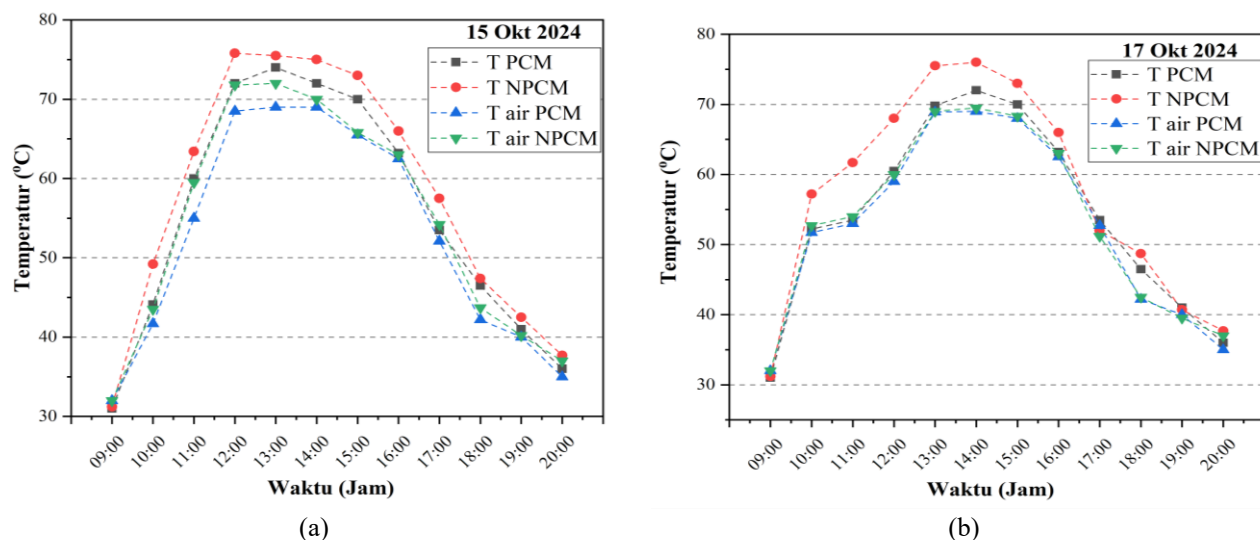
Pada 15 Oktober 2024, intensitas radiasi matahari mencapai 884 W/m² pada pukul 12:00 (Gambar 2a), menyebabkan peningkatan temperatur PCM, nano-PCM, dan air asin hingga mencapai puncaknya. Temperatur maksimum nano-PCM tercatat 75,8°C pada pukul 12:00, lebih tinggi dari PCM murni yang mencapai 74°C pada pukul 13:00. Temperatur air asin dengan nano-PCM mencapai 72°C, sedangkan dengan PCM murni hanya 69°C. Setelah puncak, temperatur menurun bertahap, dengan nano-PCM tetap 37,7°C dan PCM murni turun ke 36°C pada pukul 20:00 (Gambar 3a).

Pada 17 Oktober 2024, intensitas radiasi maksimum lebih rendah, yakni 800 W/m² pada pukul 12:00 (Gambar 2b), namun temperatur puncak PCM dan nano-PCM baru dicapai pukul 14:00. Nano-PCM mencapai 76°C, sedangkan PCM murni hanya 72°C. Temperatur air asin pada sistem nano-PCM 69,5°C, sedikit lebih tinggi dibandingkan 69°C pada PCM murni. Penurunan temperatur setelah puncaknya juga serupa dengan uji sebelumnya, dengan nano-PCM bertahan di 37,7°C dan PCM murni turun ke 36°C pada pukul 20:00 (Gambar 3b).

Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel graphene meningkatkan suhu maksimum sebesar 2,7%, membuktikan kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan panas lebih baik. Konduktivitas termal graphene yang tinggi mempercepat transfer panas ke PCM, sehingga meningkatkan efisiensi penyimpanan energi dan mempercepat pemanasan.



Gambar 2. Grafik intensitas radiasi matahari & temperatur lingkungan; (a) 15 okt 2024, (b) 17 okt 2024



Gambar 3. Grafik temperatur PCM, NPCM, air PCM & air NPCM; (a) 15 okt 2024, (b) 17 okt 2024

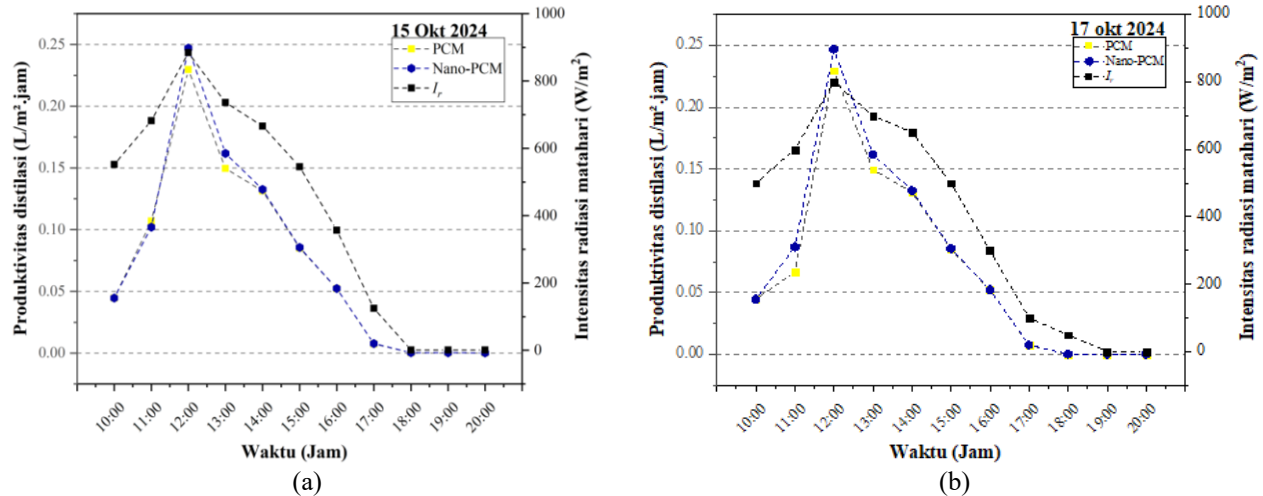
Produktivitas Distilasi

Pada 15 & 17 Oktober 2024 (Gambar 4a&b), produktivitas distilasi tertinggi dicapai pada pukul 12:00, dengan 0,247 L/m²•jam untuk sistem nano-PCM dan 0,230 L/m²•jam untuk PCM murni, seiring dengan puncak intensitas radiasi matahari.

Pada pukul 10:00, produktivitas kedua sistem sama, yaitu 0,045 L/m²•jam. Namun, pada pukul 11:00, PCM murni sedikit lebih tinggi (0,107 L/m²•jam) dibandingkan nano-PCM (0,102 L/m²•jam). Setelah mencapai

puncaknya, produktivitas mulai menurun bertahap hingga 0,008 L/m²•jam pada pukul 17:00, dan mendekati 0 L/m²•jam pada pukul 20:00 karena minimnya radiasi matahari.

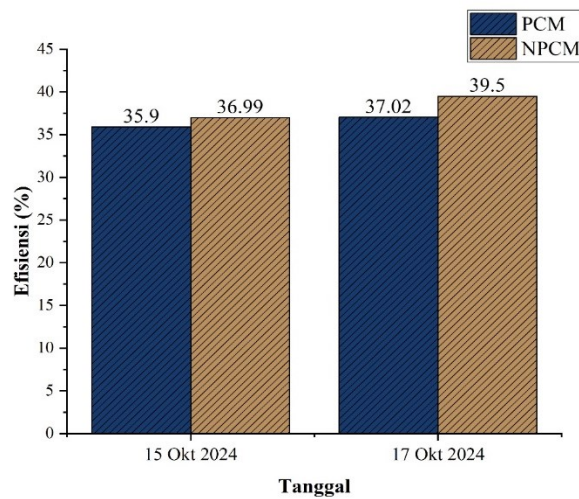
Secara keseluruhan, produktivitas harian nano-PCM mencapai 0,834 L/m², lebih tinggi 3,22% dibandingkan PCM murni yang hanya 0,808 L/m², menunjukkan efektivitas nano-PCM dalam meningkatkan produksi air tawar.



Gambar 4. Grafik produktivitas distilasi; (a) 15 okt 2024, (b) 17 okt 2024

Efisiensi Distilasi

Berdasarkan grafik, efisiensi sistem distilasi surya meningkat pada kedua tanggal pengujian, baik untuk PCM maupun nano-PCM. Pada 15 Oktober 2024, efisiensi sistem dengan PCM mencapai 35,9%, sedangkan penggunaan nano-PCM meningkatkannya menjadi 36,99%. Peningkatan lebih signifikan terjadi pada 17 Oktober 2024, dengan efisiensi 37,02% untuk PCM dan 39,5% untuk nano-PCM (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik efisiensi total distilasi 15 & 17 okt 2024

Secara keseluruhan, penggunaan nano-PCM meningkatkan efisiensi dibandingkan PCM murni, dengan peningkatan 3,03% pada 15 Oktober dan 6,7% pada 17 Oktober, menjadikannya solusi yang lebih efektif untuk distilasi surya.

4. Kesimpulan

Nano-PCM mencapai suhu maksimum lebih tinggi dibandingkan PCM murni, yaitu 76°C pada 17 Oktober 2024, sementara PCM hanya 74°C pada 15 Oktober 2024, dengan peningkatan 2,7%. Dari segi produktivitas, sistem dengan nano-PCM menghasilkan 0,834 L/m² pada 15 Oktober dan 0,819 L/m² pada 17 Oktober, dengan peningkatan 3,22% dan 6,64% dibandingkan PCM murni.

Selain itu, nano-PCM tetap efektif dalam kondisi radiasi rendah, menjaga stabilitas produktivitas distilasi. Rata-rata efisiensi harian sistem juga lebih tinggi, meningkat 3,03% pada 15 Oktober dan 6,7% pada 17 Oktober. Dengan demikian, penggunaan nano-PCM pada distilasi surya dengan kolektor palung parabola terbukti meningkatkan suhu maksimum, produktivitas, dan efisiensi, menjadikannya lebih efektif dalam menyimpan dan melepaskan energi termal.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua atas dukungan moral yang tiada henti serta kepada dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, tenaga dan pemikiran dalam memberikan arahan selama proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Teknologi dan Krisis Air. <https://pslh.ugm.ac.id/teknologi-dan-krisis-air/> (accessed 2024 Feb 28).
 - [2] Putra N, Winarta A, Amin M. Uji Eksperimental Kinerja PCM Beeswax Sebagai Thermal Storage pada Aplikasi Pemanas Air Domestik. In: Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV); 2015 Oct.
 - [3] Kuhe A, Edeoja AO. Distillate yield improvement using a parabolic dish reflector coupled single slope basin solar still with thermal energy storage using beeswax. No. 2016; 28:137-146.
 - [4] Arunkumar T, Denkenberger D, Ahsan A, Jayaprakash R. The augmentation of distillate yield by using concentrator coupled solar still with phase change material. Desalination. 2013; 314:189-192.
 - [5] Zou D, Ma X, Liu X, Zheng P, Hu Y. Thermal performance enhancement of composite phase change materials (PCM) using graphene and carbon nanotubes as additives for the potential application in lithium-ion power battery. Int J Heat Mass Transf. 2018; 120:33-41.
 - [6] Lin SC, Al-Kayiem HH. Evaluation of copper nanoparticles-Paraffin wax compositions for solar thermal energy storage. Solar Energy. 2016; 132:267-278.
 - [7] Liu C, Hu P, Xu Z, Ma X, Rao Z. Experimental investigation on thermal properties of sodium acetate trihydrate based phase change materials for thermal energy storage. Thermochim Acta. 2019; 674:28-35.
 - [8] Li D, Wu Y, Liu C, Zhang G, Arıcı M. Energy investigation of glazed windows containing Nano-PCM in different seasons. Energy Convers Manag. 2018; 172:119-128.
 - [9] Abdelrazik AS, Al-Sulaiman FA, Saidur R. Numerical investigation of the effects of the nano-enhanced phase change materials on the thermal and electrical performance of hybrid PV/thermal systems. Energy Convers Manag. 2020; 205:112449.
 - [10] Amin, M., Putra, N., Kosasih, E. A., Prawiro, E., Luanto, R. A., & Mahlia, T. M. I. (2017). Thermal properties of beeswax/graphene phase change material as energy storage for building applications. Applied Thermal Engineering, 112, 273-280.
 - [11] Kabeel AE, Sathyamurthy R, Manokar AM, Sharshir SW, Essa FA, Elshiekh AH. Experimental study on tubular solar still using Graphene Oxide Nano particles in Phase Change Material (NPCM's) for fresh water production. J Energy Storage. 2020; 28:101204.
 - [12] Shoeibi S, Kargarsharifabad H, Rahbar N. Effects of nano-enhanced phase change material and nano-coated on the performance of solar stills. J Energy Storage. 2021; 42:103061.
 - [13] Safaei MR, Goshayeshi HR, Chaer I. Solar still efficiency enhancement by using graphene oxide/paraffin nano-PCM. Energies. 2019; 12(10):2002.
 - [14] Li W, Dong Y, Zhang X, Liu X. Preparation and performance analysis of graphite additive/paraffin composite phase change materials. Processes. 2019; 7(7):447.
 - [15] Amin M, Umar H, Ginting SF, Amir F, Rizal TA, Septiadi WN, Mahlia TI. Enhancing solar distillation through beeswax-infused tubular solar still with a heat exchanger using parabolic trough collector. J Energy Storage. 2024; 86:111262.
 - [16] Essa FA, Abdullah AS, Alawee WH, Alarjani A, Alqsair UF, Shanmugan S, et al. Experimental enhancement of tubular solar still performance using rotating cylinder, nanoparticles' coating, parabolic solar concentrator, and phase change material. Case Stud Therm Eng. 2022; 29:101705.
-