

ANALISA ENERGI PADA ALAT DESALINASI AIR LAUT TENAGA SURYA MODEL LERENG TUNGGAL

Munawar Alfansury Siregar

Dosen
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Sumatera
Utara
munawaralfansury@umsu.ac.id

Wawan Septiawan Damanik

Dosen
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Sumatera
Utara
wawanseptiawan@umsu.ac.id

Sudirman Lubis

Dosen
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Sumatera
Utara
sudirmanlubis@umsu.ac.id

The use of solar energy every day is increasing due to the greater human need for energy. the application of solar desalination equipment is classified as a renewable technology that is very profitable because the energy used is obtained for free and does not cause damage to the environment. This study examines the performance of the solar desalination device with a single slope model with a passive system. It is hoped that greater energy absorption is expected to accelerate the process of evaporation of seawater in the evaporator so as to produce lots of clean water. The desalination tool on the surface of the wall is insulated using aluminum foil with a thickness of 20 mm. The highest solar intensity was obtained on the fifth day of testing, namely 420.85 W/m² with the radiation heat transfer coefficient of 18.44 W/m² °C, and the lowest solar intensity on the second day, namely 96.89 W/m² with the lowest total outside heat transfer coefficient of 25.57 W/m² °C. The highest evaporative heat transfer coefficient is 10.54 W/m² °C and the lowest is 4.42 W/m² °C. the lowest energy absorbed by the evaporator on the second day was 1.37 kWh. And the highest efficiency on the fifth day reached 58.89% and the lowest energy efficiency on the second day, namely 34.05%.

Keywords : Solar Desalination, Single Slope, Solar Still

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pengolah air laut menjadi air bersih ini didasarkan akan pentingnya air bersih sebagai kebutuhan manusia dalam kehidupan sehari-hari dan kebutuhan pertanian serta industri. Sekitar 97 % sampai 97,5 % air yang ada di permukaan bumi adalah air asin dan sekitar 2% tersimpan sebagai es di wilayah kutub dan 1% adalah air segar yang tersedia untuk kebutuhan tanaman, hewan dan kehidupan manusia [1]. Hari demi hari ketersediaan air minum dari sumber yang alami mengalami penyusutan dikarenakan meningkatnya pertumbuhan populasi manusia yang sangat cepat serta buruknya pengolahan air kotor yang dihasilkan dari limbah-limbah industri yang memakai bahan kimia yang mencemari sumber air bersih [2,3].

Beberapa teknologi desalinasi telah banyak dikembangkan diantaranya, *Reverse Osmosis (RO)*, *Thermal Vapor Compression (TVC)* *Mechanical vapor compression (MVC)*, *multi-stage flash distillation (MSF)*, *multi effect distillation (MED)* dan *Vacum Desalination (VD)* [4,5]. Tetapi beberapa peneliti mengatakan proses desalinasi menggunakan energi matahari ialah teknologi yang paling efisien, ekonomis dan ramah terhadap lingkungan [6]. Dalam 40 tahun terakhir desalinasi telah banyak dikembangkan dan menghasilkan ide-ide didalam mengembangkan model dan metodenya diantaranya model lereng tunggal dan lereng ganda dengan cara kerja sistem pasiv dan aktif [6,7]. Akan tetapi jumlah produksi air bersih yang dihasilkan dari alat desalinasi model lereng tunggal lebih besar dibandingkan dengan jumlah produksi air yang dihasilkan pada model lereng ganda [2]. Pariasasi kemiringan kaca juga telah banyak dilakukan mulai dari 15°, 30° dan 45° begitu juga dengan kedalaman air laut yang berada didalam evaporator berpariasasi mulai dari

0,01 m, 0,02 m, 0,03 m, 0,04 m, 0,05 m, 0,08 m, 0,12 m, 0,16 m dan 0,18 m [8].

Penggunaan energi pada alat desalinasi menjadi salah satu pertimbangan mengingat penggunaan energi positif banyak menghasilkan pencemaran udara dan pencemaran lingkungan. Energi angin dan panas bumi juga telah dipelajari untuk meningkatkan efisiensi perangkat desalinasi dan mengurangi total konsumsi energi fosil [9]. Penggunaan energi matahari dalam proses desalinasi meningkat 73% dibandingkan energi lain seperti energi listrik yang saat ini pemakaiannya kian meningkat hingga 62% setiap tahun [10,11]. Tiwari *et al.* [2] melakukan percobaan alat desalinasi model lereng tunggal dan lereng ganda dan diperoleh jumlah produksi air bersih pada lereng tunggal 499,1 L/Tahun, dan jumlah produksi air bersih pada model lereng ganda 464,68 L/Tahun atau sekitar 1,3 liter setiap harinya. Abhay *et al.* [12] melakukan pengujian pada alat desalinasi model lereng tunggal dengan kedalaman air 0,02 m dan 0,1 m dan diperoleh efisiensi harian sekitar 52,83% dan 41,75% pada kedalaman air yang sama.

Pada tahun berikutnya Abhay *et al.* [13] melanjutkan penelitiannya tentang desalinasi lereng tunggal untuk meningkatkan produktivitas air bersih. Produktivitas maksimum pada hari cerah mencapai 6,20 kg/m² pada musim panas, sedangkan pada musim dingin hasil air bersih saat pengujian adalah 3,23 kg/m² dengan efisiensi harian 56,62% dan efisiensi terendah 47,75%. Ibrahim *et al.* [14] melakukan penelitian terhadap tiga model alat desalinasi, yaitu model lereng tunggal, model lereng ganda dan model piramida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hari cerah dengan perbedaan sudut kemiringan 15°, 30°, dan 45°, model lereng tunggal lebih efektif sekitar 28% daripada model lereng ganda dan model piramida.

Dumka *et al.* [15] menguji alat desalinasi dengan menambahkan kapas dan pasir pada evaporator sebagai penampung panas matahari dan memasukkan 30 kg dan 40 kg air ke dalam evaporator. Hasil pengujian menunjukkan efektivitas alat desalinasi mencapai 28,56% dan 30,99% dengan efisiensi keseluruhan alat desalinasi 28,96% menjadi 31,31%. D.B.Singh *et al.* [16] melakukan percobaan desalinasi model kemiringan tunggal sistem pasiv total energi yang diterima evaporator 1.159,43 kW dan jumlah produksi air bersih 1.739,15 kg/Tahun atau sekitar 1,73 kg setiap harinya. Pada tahun berikutnya D.B.Singh *et al.* [7] menambahkan collector tembaga dan heter elektrik yang arus listriknya bersumber dari photovoltaic pada alat desalinasi model lereng tunggal sistem pasiv dan total energi yang diperoleh 3.389,00 kW dan jumlah produksi air bersih diperoleh 4.519,54 kg/tahun atau sekitar 12,55 kg setiap harinya. Selain penggunaan energi matahari, energi angin dan panas bumi juga dipertimbangkan yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan juga energi yang digunakan bersifat ramah lingkungan [17,18].

Dari ketiga jenis energi yang sering digunakan pada alat desalinasi yaitu matahari, angin dan panas bumi, energi matahari ialah yang paling banyak digunakan hingga 73% dibandingkan dengan energi lainnya [19]. Sebelum berkembangnya penggunaan energi matahari, penggunaan energi listrik juga telah dilakukan, sekitar 10.000 ton bahan bakar dihabiskan untuk proses desalinasi [20]. Energi yang diterima sangat berpengaruh terhadap jumlah laju produksi air bersih yang dihasilkan pada alat desalinasi, maka dibutuhkan pemanfaatan energi yang baik guna mengurangi jumlah energi yang terbuang pada saat proses dilakukan. Dari beberapa literatur yang telah disebutkan di atas dapat digunakan sebagai acuan pentingnya pengkajian alat desalinasi untuk mendapatkan formula baru yang berguna dalam meningkatkan produksi air bersih dari alat desalinasi.

2. METODE DAN BAHAN

Pengujian dilakukan selama 7 hari dengan letak evaporator dan kaca evaporator mengarah ke selatan agar dapat menerima energi panas dari matahari secara sempurna. Termokopel diletakkan sebanyak 6 buah pada daerah-daerah yang ingin diketahui temperaturnya yaitu temperatur kaca bagian luar, temperatur kaca bagian dalam, temperatur basin, temperatur air, temperatur pipa tembaga dan temperatur lingkungan data direkam setiap jamnya dan digunakan untuk mencari besar koefisien perpindahan panas, jumlah air bersih yang dihasilkan dan total energi yang diserap pada alat desalinasi. Berikut data dimensi alat destilasi matahari dan sifat fisik dari bahan yang digunakan.

Pada tabel 1 dapat dilihat spesifikasi dan sifat fisik dari bahan yang digunakan pada alat desalinasi matahari. Luas permukaan kaca penutup evaporator yang berbahan kaca bening dan bahan dinding di

rencanakan menggunakan aluminium komposit yang diharapkan mampu menahan panas keluar evaporator. Dinding evaporator juga dilapis oleh *styrofoam* dan pada lapisan terakhir dibungkus oleh aluminium *foil*. Ketinggian air di kontrol dengan memberikan pengukur permukaan air dari evaporator yaitu 0,03 m.

Tabel 1: Sifat fisik peralatan distilasi.

Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Luas permukaan kaca	1 m ²	Ketebalan isolasi	0,02 m
Koefisien perpindahan panas dasar ke air	100 W/m ² C	Koefisien perpindahan panas isolasi	0,039 W/m °C
Koefisien Stephan–Boltzman	5,67x 10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴	Fraksi energi matahari Yang diserap bak	0,8
Luas bak	1,932 x 1 m	Fraksi energi matahari Yang diserap air	0,6
Ketebalan kaca	0,04 m ²	Fraksi energi matahari Yang diserap kaca	0,05
Koefisien perpindahan panas kaca	0,78 W/m ² °C	Emisivitas efektif	0,9048



Gambar 1: Skema percobaan alat desalinasi lereng tunggal

Dimensi alat desalinasi telah disesuaikan mengikuti penelitian yang telah dilakukan sebelumnya D.B.Singh *et al.* [16]. Cara kerja alat desalinasi yang digunakan ialah dengan membuka katub saluran masuk air dari tangki penampungan kedalam basin sampai tinggi permukaan air mencapai 0,02 m dari dasar evaporator. Setelah air didalam evaporator terisi cukup maka selanjutnya mengoprasikan data logger temperatur agar mulai merekam data temperatur kaca luar (T_{go}), temperatur kaca dalam (T_{gi}), temperatur Air (T_w), temperatur basin (T_b) dan temperatur lingkungan (T_a) sedangkan data intensitas matahari direkam dengan menggunakan sensor intensitas matahari.

Waktu dimulainya pendataan dimulai dari pukul 08:00 WIB hingga 17:30 WIB. Memperhatikan air di dalam evaporator, jika air berkurang maka buka kran air dari tangki cadangan air laut untuk mengisi kembali cadangan air didalam evaporator. Usai pengambilan data sore hari bisa dihentikan tepat pada batas akhir pengambilan data. Air bersih hasil desalinasi dapat ditimbang dengan timbangan digital dan dicatat setiap hari, untuk dijadikan acuan dan perbandingan jumlah air yang dihitung dari hasil pengujian. Pengujian akan dilakukan selama enam bulan penuh untuk melihat performa peralatan terhadap perubahan cuaca yang terjadi selama waktu tersebut.

2.1 Temperatur dan Koefisien Perpindahan Panas

Data yang diperoleh pada saat pengujian di analisis agar dapat diketahui tinggi temperatur perhitungan dari kaca bagian luar dan kaca bagian dalam dan juga untuk menghitung besar koefisien perpindahan panas yang terjadi pada saat pengujian. Ada dua bagian yang akan dihitung nilai koefisien perpindahan panas pada

evaporator yaitu, koefisien perpindahan panas diluar dan koefisien perpindahan panas didalam. Koefisien perpindahan panas diluar antara lain koefisien perpindahan panas konveksi dari kaca ke lingkungan dan koefisien perpindahan panas radiasi dari kaca ke lingkungan. Sedangkan koefisien perpindahan panas didalam yaitu koefisien perpindahan panas konveksi, radiasi dan evaporasi. Menghitung temperatur kaca evaporator bagian luar dan dalam T_{go} , T_{gi} dapat mengikuti persamaan 1 dan 2 [11,12,16,17].

$$T_{go} = \frac{\frac{K_g}{L_g} T_{gi} + h_{1g} T_a}{\frac{K_g}{L_g} + h_{1g}} \tag{1}$$

$$T_{gi} = \frac{\alpha'_g I_S(t) A_g + h_{1w} T_w A_b + U_{c,ga} T_a A_g}{U_{c,ga} A_g + h_{1w} A_b} \tag{2}$$

Untuk memperoleh total energi yang diserap evaporator terlebih dahulu menghitung koefisien perpindahan panas diluar maupun didalam. Menghitung koefisien perpindahan konveksi diluar evaporator h_{cg} dapat menggunakan persamaan 3 [2].

$$h_{cg} = \left[\begin{array}{l} [5.7 + 3.8 \times V] : \leq 5 \text{ m/s} \\ [6.15 \times V^{0.8}] > 5 \text{ m/s} \end{array} \right] \tag{3}$$

Temperatur kaca bagian luar dan suhu kaca bagian dalam digunakan untuk mencari nilai koefisien perpindahan panas bagian luar, bagian dalam dan koefisien perpindahan panas keseluruhan sebelum mencari nilai energi keseluruhan yang diserap air untuk menguap. Faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya suhu adalah nilai intensitas matahari pada saat pengujian. Untuk menghitung nilai koefisien konveksi pada permukaan kaca bagian luar (W/m^2) dapat menggunakan persamaan berikut. Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap besar koefisien perpindahan panas diluar evaporator karena berhadapan dengan lingkungan. Untuk menghitung perpindahan panas yang terjadi didalam evaporator h_{rg} dapat menggunakan persamaan 4 [2].

$$h_{rg} = \frac{\epsilon_g \times \sigma \times (T_g^4 - T_{sky}^4)}{(T_g - T_a)} \tag{4}$$

Sisi luar kaca terjadi bersamaan dengan perpindahan panas antara sinar matahari yang mengenai permukaan kaca dan refleksi dari kaca ke lingkungan sekitarnya yaitu koefisien perpindahan panas konveksi. Perpindahan panas radiasi pada permukaan kaca membutuhkan koefisien perpindahan panas radiasi (W/m^2), Anda dapat menggunakan persamaan berikut Setelah diperoleh Total koefisien perpindahan panas bagian luar maka selanjutnya menghitung besar koefisien perpindahan panas bagian dalam. Untuk menghitung besar koefisien perpindahan panas diluar evaporator h_{rw} air ke udara didalam evaporator dapat menggunakan persamaan 5 [3,11,12,16,17,18].

$$h_{rw} = \epsilon_{eff} \times \sigma \times \left[(T_w + 273)^2 + (T_{gi} + 273)^2 \times (T_w + T_{gi} + 546) \right] \tag{5}$$

Emissifitas efektif ϵ_{eff} dan bilangan Stephan-Boltzman σ dapat diperoleh dari tabel 1. Untuk mencari koefisien perpindahan panas konveksi h_{cw} pada air dapat menggunakan persamaan 6 [3,11,12,16,17].

$$h_{cw} = 0.884 \left[(T_w + T_{gi}) + \frac{(P_w - P_{gi}) \times (T_w + 273)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

Untuk menghitung besar koefisien perpindahan panas evaporasi h_{ew} yang terjadi pada evaporator dapat menggunakan persamaan 7 [3,11,12,16,17].

$$h_{EW} = 0.034 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[(T_{giE} + 273)^2 + (T_{giW} + 273)^2 \right] \times [T_{giE} + T_{giW} + 5546] \quad (7)$$

Setelah memperoleh besar koefisien perpindahan panas diluar dan didalam maka dapat diketahui total energi yang diserap evaporator setiap harinya.

2.2 Energi dan Efisiensi Energi Pada Evaporator

Energi yang diterima dan diserap oleh evaporator setiap jam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 [3,11,12,16,17].

$$En_{hours} = [h_{ef} (T_{bf} - T_{gi})] \quad (8)$$

Setelah memperoleh besar energi yang diserap setiap jam maka dapat dicari efisiensi energi dari alat desalinasi dengan menggunakan persamaan 9 [3,11,12,16,17].

$$\eta_{En} = \frac{\sum (m_{ew}) \times L}{(A_g - I_s(t)) \times 3600} \times 100 \quad (9)$$

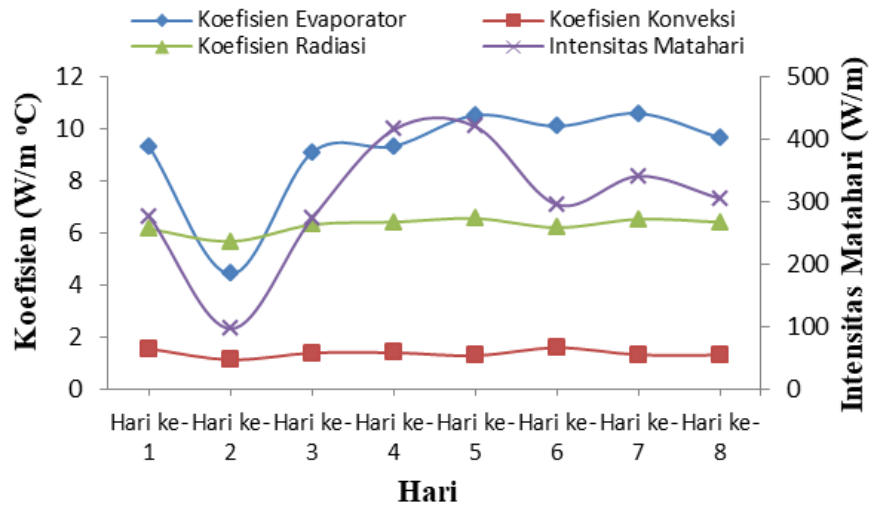
Persamaan diatas digunakan untuk mencari efisiensi dari evaporator.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian dilakukan selama 8 hari dengan mengamati temperatur dari kaca evaporator bagian luar dan dalam juga temperatur air dan udara didalam evaporator dengan merekam setiap jamnya. Ada 6 buah termokopel yang melekat pada setiap sisi yang ingin diamati besar temperaturnya. Kecepatan angin dan kuat intensitas matahari juga di amati setiap jamnya, karena matahari sebagai sumber energi utama. Sedangkan air bersih yang terkumpul pada tangki air bersih akan diukur volumenya.

3.1 Koefisien Perpindahan Panas di Dalam

Perpindahan energi panas dari cahaya matahari tidak semuanya akan terserap dan diubah menjadi energi yang menaikkan temperatur air, melainkan sebahagian akan terbuang ke lingkungan melalui proses konveksi, radiasi dan konduksi, semakin sedikit nilai koefisien perpindahan panas akan menguntungkan proses desalinasi karena kurangnya energi yang terbuang. Setelah dilakukan analisis dari data hasil pengujian maka didapatkan besar koefisien perpindahan panas didalam evaporator rata-rata dapat dilihat pada gambar 1 berikut.

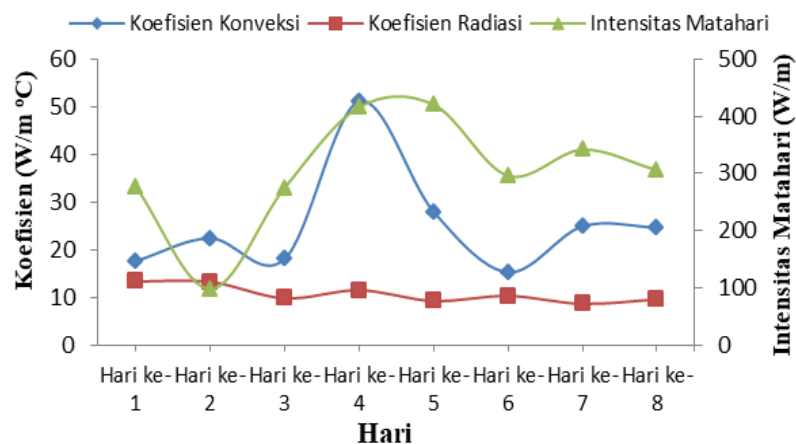


Gambar 2: Grafik intensitas matahari terhadap koefisien perpindahan panas didalam evaporator

Dari gambar 1 dapat dilihat pada hari kelima pengujian intensitas matahari sangat tinggi yaitu 420,85 W/m² sehingga koefisien perpindahan panas evaporasi yang terjadi pada hari itu sangat tinggi dibandingkan dengan hari sebelumnya hingga mencapai 10,54 W/m²°C, hal ini disebabkan karena tingginya energi panas yang masuk dan diserap air sehingga air lebih cepat menguap. Sementara pada hari kedua intensitas matahari terlihat rendah hanya mencapai 96,89 W/m² dan koefisien perpindahan panas evaporasi juga terlihat rendah hanya mencapai 4,42 W/m²°C hal ini disebabkan intensitas matahari yang sangat rendah sehingga energi yang masuk dan diserap juga rendah menyebabkan laju evaporasi dari air yang berada pada evaporator tidak secepat pada hari kelima. Untuk koefisien konveksi dengan intensitas matahari yang sama yaitu sebesar 1,32 W/m²°C dan koefisien konveksi terendah pada hari kedua 1,16 W/m²°C dan pada koefisien radiasi pada hari kelima yaitu 6,58 W/m²°C dan terendahnya pada hari kedua yaitu 5,7 W/m²°C.

3.2 Koefisien Perpindahan Panas Diluar

Intensitas matahari dan laju kecepatan angin pada saat pengujian sangat berpengaruh terhadap laju perpindahan panas dari kaca sisi luar evaporator kelingkungan sekitar. Selain kecepatan angin berguna untuk proses konveksi membuang energi panas dari uap air agar lebih cepat menjadi titik air dan mengalir ke tangki air bersih, disini juga menjadi sebuah kerugian dimana adanya energi yang terbuang dari dalam evaporator. Besar koefisien perpindahan panas yang terjadi pada sisi luar evaporator dapat dilihat pada gambar 3.



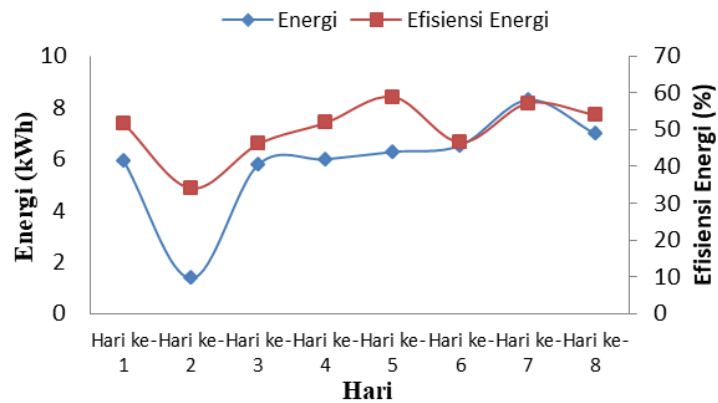
Gambar 3: Grafik intensitas matahari terhadap koefisien perpindahan panas diluar evaporator

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa koefisien konveksi tertinggi terjadi pada hari keempat yaitu

51,15 W/m²°C dan koefisien terendah terlihat pada hari keenam 15,28 W/m²°C. Intensitas matahari yang tinggi mempengaruhi besarnya koefisien konveksi dari permukaan kaca luar ke lingkungan, hal ini juga disebabkan kecepatan angin pada hari keempat jauh lebih tinggi yaitu hingga mencapai 14,11 m/s dibandingkan dengan kecepatan angin pada hari keenam hanya mencapai 2,76 m/s. Sementara koefisien perpindahan panas radiasi tertinggi terlihat pada hari kedua yaitu 13,25 W/m²°C dan terendah pada hari ketujuh 8,62 W/m²°C. Laju perpindahan panas konveksi akan diambil dari nilai koefisien perpindahan panas konveksi yang terjadi diluar evaporator.

3.3 Energi dan efisiensi energi

Semakin besar energi yang diserap air yang berada didalam evaporator maka semakin besar pula laju pengupuan dari air di dalam evaporator dan ini sangat diharapkan agar jumlah produksi air bersih semakin meningkat. Besar energi yang diserap harus sesuai dengan jumlah air yang dihasilkan guna memperkecil kerugian akibat energi yang terbuang. Penimbunan energi panas juga kerap terjadi pada air dikarenakan evaporator yang dibungkus oleh bahan yang bersifat menahan panas sehingga kerugian panas semakin sedikit. Total energi yang diserap air didalam evaporator dan efisiensi energi pada evaporator dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4: Grafik energi terhadap efisiensi energi yang diserap air di dalam evaporator

Dari Gambar 4 dapat dilihat tinggi rendahnya energi yang diserap air didalam evaporator pada saat pengujian berlangsung. Total energi panas yang diserap tertinggi terlihat pada hari kelima yaitu 6,28 kWh dan total energi panas yang diserap terendah pada hari kedua yaitu 1,37 kWh. Hal ini sesuai dengan tinggi intensitas matahari yang ditampilkan pada gambar 3 dan 4 bahwa tinggi rendahnya energi yang diserap mengikuti garis intensitas matahari. Efisiensi energi tertinggi diperoleh pada hari kelima hingga mencapai 58,89 % dikarenakan kecerahan hari pada saat pengujian hari kelima sangat baik sehingga intensitas matahari yang diterima semakin besar, dan efisiensi terendah diperoleh pada hari kedua yaitu 34,05 % dikarenakan pada hari kedua pengujian kecerahan cuaca tidak bagus mengakibatkan intensitas matahari yang rendah. Hal ini juga sejalan dengan pernyataan sebelumnya bahwa intensitas matahari yang tinggi menyebabkan banyaknya penimbunan energi panas pada air laut di dalam evaporator sehingga air lebih cepat menguap dan menghasilkan titik embun air bersih.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa cuaca yang cerah akan menghasilkan intensitas matahari yang tinggi yang akan berpengaruh terhadap energi panas yang diserap oleh air, semakin tinggi intensitas maka energi panas yang diserap semakin banyak. Dengan intensitas matahari tertinggi 420,85 W/m² diperoleh koefisien perpindahan panas total didalam evaporator yaitu 18,44 W/m²°C, dan total koefisien perpindahan panas

didalam evaporator terendah dengan intensitas matahari $96,89 \text{ W/m}^2$ yaitu $11,31 \text{ W/m}^2\text{C}$. Sedangkan total koefisien perpindahan panas diluar yaitu $62,63 \text{ W/m}^2\text{C}$ dan total koefisien perpindahan panas diluar terendah yaitu $25,57 \text{ W/m}^2\text{C}$. Energi yang diserap evaporator tertinggi diperoleh pada hari kelima yaitu $6,28 \text{ kWh}$ dan energi terendah diserap evaporator pada hari kedua yaitu $1,37 \text{ kWh}$. Dan efisiensi tertinggi pada hari kelima yaitu mencapai $58,89 \%$ dan efisiensi energi terendah pada hari kedua yaitu $34,05 \%$.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan izin untuk melaksanakan penelitian ini pada Gedung F Lantai 6 Fakultas Agama Islam Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dan juga ucapan terimakasih kepada seluruh asisten dan laboran Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang banyak membantu didalam pengerjaan perakitan, instalasi hingga pengujian dan pengambilan data.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. S. DAMANIK, F. H. NAPITUPULU, A. H. NASUTION, and H. AMBARITA, "Energy analysis of double slope aktive solar still," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 725, no. 1, March. 2020.
- [2] G. N. TIWARI and L. SAHOTA, "Review on the energy and economic ef fi ciencies of passive and active solar distillation systems," *Desalination*, vol. 401, pp. 151–179, 2017, 2017.
- [3] L. SAHOTA and G. N. TIWARI, "Effect of nano fl uids on the performance of passive double slope solar still : A comparative study using characteristic curve," *Desalination*, vol. 388, pp. 9–21, 2016.
- [4] M. A. SIREGAR and W. S. DAMANIK, "Energy analysis desalination of single slope solar still," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 821, no. 1, 2020.
- [5] L. SAHOTA, SHYAM, and G. N. TIWARI, "Energy matrices, enviroeconomic and exergoeconomic analysis of passive double slope solar still with water based nanofluids," *Desalination*, vol. 409, pp. 66–79, 2017.
- [6] D. B. SINGH and G. N. TIWARI, "Effect of energy matrices on life cycle cost analysis of partially covered photovoltaic compound parabolic concentrator collector active solar distillation system," *Desalination*, vol. 397, pp. 75–91, 2016.
- [7] D. B. SINGH and I. M. AL-HELAL, "Energy metrics analysis of N identical evacuated tubular collectors integrated double slope solar still," *Desalination*, Vol.432, pp. 10-22, 2018.
- [8] L. SAHOTA, SHYAM, and G. N. TIWARI, "Analytical characteristic equation of nanofluid loaded active double slope solar still coupled with helically coiled heat exchanger," *Energy Convers. Manag.*, vol. 135, pp. 308–326, 2017.
- [9] L. SAHOTA and G. N. TIWARI, "Review on series connected photovoltaic thermal (PVT) systems: Analytical and experimental studies," *Sol. Energy*, vol. 150, pp. 96–127, 2017.
- [10] G. N. TIWARI and L. SAHOTA, "Exergy and Technoeconomic analysis of solar thermal desalination", *Renewable Energy Powered Desalination Handbook*, chapter 14, India, Elsevier Inc, 2018.
- [11] M. D. S. IRSYAD, MUHAMMAD, AMRIZAL, AJI MUHAMMAD YULIAN, "Karakteristik Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Staggered Fins Berisi Material Fasa Berubah Dari Minyak Kelapa Pada Proses Pembekuan," *Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. July, pp. 159–164, 2020.
- [12] A. AGRAWAL, R. S. RANA, and P. K. SRIVASTAVA, "Resource-Efficient Technologies Heat transfer coefficients and productivity of a single slope solar still in Indian climatic condition : Experimental and theoretical comparison," *Resour. Technol.*, vol. 0, pp. 1–17, 2017.
- [13] A. AGRAWAL and R. S. RANA, "Theoretical and experimental performance evaluation of single-slope single-basin solar still with multiple V-shaped fl oating wicks," *Heliyon*, Vol.5, p. e01525, April. 2019.
- [14] I. ALTARAWNEH, S. RAWADIEH, M. BATIHA, and L. MKHADMEH, "Experimental and numerical performance analysis and optimization of single slope , double slope and pyramidal shaped solar stills," *Desalination*, vol. 423, pp. 124–134, February. 2017.
- [15] P. DUMKA, A. SHARMA, Y. KUSHWAH, A. S. RAGHAV, and D. R. MISHRA, "Performance evaluation of single slope solar still augmented with sand-filled cotton bags," *J. Energy Storage*, vol. 25, p. 100888, July. 2019.
- [16] D. B. SINGH, J. K. YADAV, V. K. DWIVEDI, S. KUMAR, G. N. TIWARI, and I. M. AL-HELAL, "Experimental studies of active solar still integrated with two hybrid PVT collectors," *Solar Energy*, Vol.130, pp. 207-223, February. 2016.

- [17] I. ALTARAWNEH, S. RAWADIEH, M. BATIHA, and L. AL-MAKHADMEH, “Experimental and numerical performance analysis and optimization of single slope , double slope and pyramidal shaped solar stills,” *Desalination*, vol. 423, pp. 124–134, September. 2017.
- [18] C. A. SIREGAR, “Pengaruh Jarak Kaca Terhadap Efisiensi Alat Destilasi Air Laut yang Memanfaatkan Energi Matahari di Kota Medan,” *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 2, no. 2, p. 51, 2019.
- [19] D. B. SINGH, G. N. TIWARI, I. M. AL-HELAL, V. K. DWIVEDI, and J. K. YADAV, “Effect of energy matrices on life cycle cost analysis of passive solar stills,” *Solar Energy*, vol. 134, pp. 9–22, 2016.
- [20] M. SHADI, S. ABUJAZAR, S. FATIHAH, A. R. RAKMI, and M. Z. SHAHROM, “The effects of design parameters on productivity performance of a solar still for seawater desalination : A review,” *Desalination*, vol. 385, pp. 178–193, 2016.