EISSN: 2528 - 0112

JURNAL VIRTUAL OF MECHANICAL ENGINEERING ARTICLE (V-MAC)

https://ejournal.unibabwi.ac.id/index.php/vmac email: vmac.mesin@gmail.com

Pengaruh *Vortex Generator* terhadap Kinerja Kondensor pada Sistem *Solar Still*

Muhammad Irfan[1], Dan Mugisidi[2], Oktarina Heriyani[3], Sofia Pinardi[4], Nunik Pratiwi[5]
[1]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta, Indonesia muhirfan5397@gmail.com
[2]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta, Indonesia dan.mugisidi@uhamka.ac.id
[3]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta, Indonesia oktarina@uhamka.ac.id
[4]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta, Indonesia sofiapinardi@uhamka.co.id
[5]Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta, Indonesia npratiwi@uhamka.ac.id

Corresponding Author: dan.mugisidi@uhamka.ac.id

Abstract: *The limitation of clean water availability has led to the development of solar-powered desalination technology as one of the solutions. This study aims to experimentally compare the performance of a condenser with a trapezoidal vortex generator (VG) and without a vortex generator (NVG) in a solar still system. Testing was conducted over three days at the Mechanical Engineering Laboratory of Muhammadiyah University Prof. Dr. HAMKA, with data collected every 15 minutes for 9 hours per day. The parameters analyzed were temperature profile, dew point temperature, Reynolds number, convection coefficient, heat transfer rate, condensate productivity, and condensation efficiency. The results of the study show that the VG condenser produces a higher heat transfer rate compared to the NVG condenser, resulting in a 21.4% increase in condensate productivity (494 grams for the VG condenser and 407 grams for the NVG). The condensation efficiency (ε) of the VG condenser averaged 97.07%, while that of the NVG condenser averaged 98.47%. The NVG condenser exhibited a slightly higher value due to a smaller difference between the theoretical and experimental mass flow rates. Heat transfer capacity and freshwater productivity increased with the addition of the trapezoidal vortex generator.*

Keyword: *condenser, vortex generator, solar still, heat transfer*

Abstrak: Keterbatasan ketersediaan air bersih sehingga mendorong pengembangan teknologi desalinasi berbasis energi matahari menjadi salah satu solusi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja kondensor dengan *vortex generator* trapezoidal (VG) dan tanpa *vortex generator* (NVG) pada sistem *solar still* secara eksperimental. Pengujian dilakukan selama tiga hari di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, dengan pengambilan data setiap 15 menit selama 9 jam per hari. Parameter yang dianalisis adalah profil temperatur, temperatur titik embun, bilangan Reynolds, koefisien konveksi, laju perpindahan panas, produktivitas kondensat, dan efektivitas kondensasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondensor VG menghasilkan laju perpindahan panas yang lebih besar dibandingkan kondensor NVG, yang

berdampak pada peningkatan produktivitas kondensat sebesar 21,4% (494 gram pada kondensor VG dan 407 gram pada NVG). Efektivitas kondensasi (ε) kondensor VG dengan rata-rata 97,07% dan kondensor NVG dengan rata-rata 98,47%. Kondensor NVG menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi akibat selisih massa teoritis dan eksperimental yang lebih kecil. Kapasitas perpindahan panas dan produktivitas air tawar meningkat dengan penambahan *vortex generator* trapezoidal.

Kata Kunci: kondensor, *vortex generator*, *solar still*, perpindahan panas.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih menjadi salah satu permasalahan utama di berbagai wilayah akibat pertumbuhan penduduk dan perubahan iklim [1], [2]. Air tawar yang tersedia di seluruh dunia hanya sekitar 2,8%, sisanya mayoritas adalah air laut [1], [3]. Negara Indonesia yang berbentuk kepulauan pun mengalami kesulitan akses air bersih terutama di wilayah pesisir Indonesia. Sekitar 66,54% warga Indonesia yang mendapatkan akses air bersih, sehingga sebagian warganya terpaksa mengandalkan air yang kurang layak digunakan untuk sehari-hari [4], [5]. Kondisi ini menjelaskan pentingnya teknologi desalinasi untuk wilayah di pesisir.

Salah satu teknologi desalinasi yaitu sistem *solar still*, teknologi ini bekerja menggunakan prinsip sederhana dengan memanfaatkan panas matahari sebagai energi. Air laut dipanaskan dari matahari, sehingga air laut menguap dan terjadi kondensasi [6]. Tidak perlu menggunakan energi lain dalam penggunaannya, sehingga *solar still* sangat cocok untuk wilayah pesisir [5], [6]. Namun biasanya *solar still* memiliki keterbatasan produktivitas air akibat efektivitas kondensasi, maka berbagai cara dikembangkan oleh peneliti agar performanya bisa terus ditingkatkan, salah satunya dengan menambahkan kondensor eksternal. [7], [8].

Dengan penambahan kondensor eksternal pada sistem *solar still* mampu menambah produktivitas *solar still* sekitar 80,36%, jika dibandingkan dengan *solar still* biasa [9]. Kondensor merupakan alat penukar panas, jika uap bersentuhan dengan material yang temperaturnya lebih rendah, maka muncul titik air yang disebut kondensasi [10]. Studi yang membandingkan beberapa konfigurasi *solar still* menyatakan bahwa dengan penambahan kondensor yang terintegrasi mampu menambah produktivitasnya mencapai 1,17 sampai 1,81 kali lebih besar dibandingkan dengan konvensional, dan efektivitas kondensornya mencapai 85,57% dan 91,25% [11]. Bentuk kondensor seperti kerucut yang diintegrasikan pada sistem *solar still* mampu mencapai efisiensi 83,94% dengan efektivitas produksi sekitar 96,4% [12], hasil distilat *solar still* bahkan dapat meningkat 24% sampai 165% tergantung pada bentuk modifikasi kondensor yang digunakan [7], [11]. Namun studi yang membahas efisiensi kondensasi masih terus berkembang, eksperimen terhadap bentuk-bentuk kondensor yang mampu memaksimalkan kontak uap dan permukaan kondensor masih sangat terbuka [13].

Kondensor dengan penambahan *vortex generator* di dalamnya mampu meningkatkan perpindahan panas [14], sehingga mendukung proses terjadinya kondensasi, *vortex* bekerja dengan cara memaksa fluida turbulensi sehingga lebih sering bersentuhan dengan permukaan kondensor [13], [15]. *Vortex* berbentuk trapezoidal digunakan supaya bisa membantu memperbesar sentuhan antara uap dan dinding kondensor [14], [16]. Studi sebelumnya menunjukan dengan penambahan *vortex generator* pada sistem desalinasi meningkatkan perpindahan panas dan air tawar yang dihasilkan. Tetapi literatur yang membandingkan kinerja kondensor *vortex* dan tanpa *vortex* dengan radiasi matahari secara langsung masih terbatas pada sistem *solar still*, terutama dalam aspek temperatur, perpindahan panas, produktivitas kondensat dan efektivitas kondensasi dalam satu sistem pengujian.

Sehingga penelitian ini bertujuan untuk membahas perbandingan kinerja kondensor dengan menggunakan *vortex generator* dan kondensor tanpa menggunakan *vortex generator* pada sistem *solar still* melalui parameter temperatur, perpindahan panas, produktivitas

kondensat, dan efektivitas kondensasi. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam mempertimbangkan pengembangan kondensor pada *solar still*.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis perbandingan kondensor VG (*vortex generator*) dan kondensor NVG (tanpa *vortex generator*), yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA.

Analisis perpindahan panas pada penelitian ini adalah menggunakan konveksi paksa untuk membandingkan pada kedua konfigurasi kondensor, pendekatan ini digunakan karena ada exhaust yang menarik uap dari ruang penguapan menuju kondensor maka dari itu bersifat paksa *(forced flow)* dan terkena paparan radiasi matahari secara langsung, di mana kecepatan aliran udara terbukti berpengaruh signifikan terhadap laju evaporasi dan perpindahan massa pada sistem desalinasi [17]. Fokus utama analisis ini adalah perbandingan antar kedua konfigurasi kondensor, bukan penentuan nilai absolut perpindahan panas yang presisi. Mekanisme perpindahan panas itu sendiri ada tiga, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi [18], perhitungan aliran pada kondensor menggunakan bilangan Reynolds [19], [20]:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_i}{\mu} \tag{1}$$

Di mana ρ adalah densitas udara (kg/m³), v adalah kecepatan dari *exhaust fan* (m/s), D_i adalah diameter dalam kondensor (m), dan μ adalah viskositas dinamik udara ($Pa \cdot s$). Setelah nilai Re diketahui, Nusselt (Nu) menggunakan persamaan [18]:

$$Nu = C \cdot (Re^m) \cdot Pr^n \tag{2}$$

Nilai konstanta $C = 0{,}023$, $m = 0{,}8$, dan $n = 0{,}3$ digunakan untuk kondisi aliran turbulen pada konveksi paksa di dalam saluran, korelasi pada persamaan ini digunakan sebagai pendekatan untuk memperkirakan koefisien perpindahan panas konveksi pada kedua konfigurasi kondensor. Pemilihan korelasi didasarkan pada kondisi aliran selama pengujian yang berada pada rentang bilangan Reynolds di atas 10.000 dan bilangan Prandtl sekitar 0,704, sehingga masih berada dalam rentang penerapan korelasi empiris untuk konveksi paksa turbulen, koefisien konveksi dihitung menggunakan [18]:

$$h = \frac{Nu \cdot k_f}{D_i} \tag{3}$$

(k_f) adalah konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot K$), dan Pr adalah bilangan Prandtl. Dengan nilai koefisien konveksi (h) yang diperoleh (W/m^2K), laju perpindahan panas (Q) secara konveksi paksa dari aliran uap ke dinding kondensor (W), dihitung menggunakan persamaan berikut [18]:

$$Q = h \cdot A \cdot (\Delta T) \tag{4}$$

A merupakan luas permukaan kondensor (m^2) yang dihitung menggunakan [18]:

$$A = \pi \cdot D_i \cdot L \tag{5}$$

Di mana D_i adalah diameter dalam kondensor (m) dan L adalah panjang pipa kondensor (m), dan ΔT ($T_{in} - T_{ci}$) adalah selisih temperatur antara uap masuk dan dinding kondensor (°C). Hasil kondensat secara teoritis (kg/s) dapat dihitung dengan persamaan [12]:

$$m_{teoritis} = \frac{Q}{hfg} \tag{6}$$

Di mana hfg merupakan kalor laten (J/kg) yang dihitung menggunakan persamaan [12]:

$$hfg = 2{,}4935 \times 10^6(1 - 9{,}4779 \times 10^{-4}T_{in} + 1{,}3132 \times 10^{-7}T_{in}^2 + 4{,}7974 \times 10^{-9}T_{in}^3) \tag{7}$$

Selain parameter di atas, penelitian ini menganalisis temperatur titik embun dihitung berdasarkan temperatur uap (℃) dan kelembapan relatif (%) pada kondensor menggunakan persamaan magnus [21]:

$$T_{dp} = \frac{243{,}04\left[ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17{,}625 \cdot T}{243{,}04 + T}\right]}{17{,}625 - ln\left(\frac{RH}{100}\right) - \frac{17{,}625 \cdot T}{243{,}04 + T}} \quad (8)$$

Dalam menghitung efektivitas kondensor menggunakan rumus persamaan berikut [12]:

$$\varepsilon = \frac{m_{eksperimental}}{m_{teoritis}} \times 100\% = \frac{massa\ air\ eksperimental}{massa\ air\ teoritis} \times 100\% \quad (9)$$

Standar deviasi dihitung menggunakan Persamaan (10) untuk menunjukkan variasi data terhadap nilai rata-rata hasil pengukuran [22]:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (10)$$

Di mana SD adalah standar deviasi, x_i merupakan nilai pengukuran, $\bar{x}$ adalah nilai rata-rata data, dan n merupakan jumlah data pengamatan.

Seluruh persamaan tersebut diterapkan pada data hasil pengujian untuk menganalisis karakteristik perpindahan panas, efektivitas kondensasi, serta produktivitas kondensat pada kedua konfigurasi kondensor. Perhitungan parameter tersebut memerlukan data eksperimen yang diperoleh melalui pengukuran temperatur, kelembapan relatif, kecepatan aliran, intensitas radiasi matahari, dan massa kondensat selama proses pengujian berlangsung. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan beberapa alat ukur dan bahan yang disesuaikan dengan kebutuhan pengambilan data serta mendukung proses perhitungan parameter yang dianalisis. Rincian alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, beserta fungsi dan spesifikasinya, disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2:

Tabel 1. Alat

No.	Alat	Fungsi	Spesifikasi
1	Digital Termometer	Mengukur Temperatur	−50°C s.d. 110°C, resolusi 0,1°C, akurasi ±0,1°C
2	Digital Hygrometer	Mengukur kelembapan relatif	10%–99%, resolusi 1%, akurasi ±1%
3	Anemometer	Mengukur kecepatan angin	0 – 30 m/s, resolusi 0.1 m/s
4	Solar power meter	Mengukur intensitas radiasi matahari	1-3999 W/m²
5	Timbangan Digital	Mengukur massa kondensat	0-10 kg
6	*Exhaust fan*	Menarik uap menuju kondensor	Diameter 4 inch, debit 180 m^3/jam, 2800 rpm

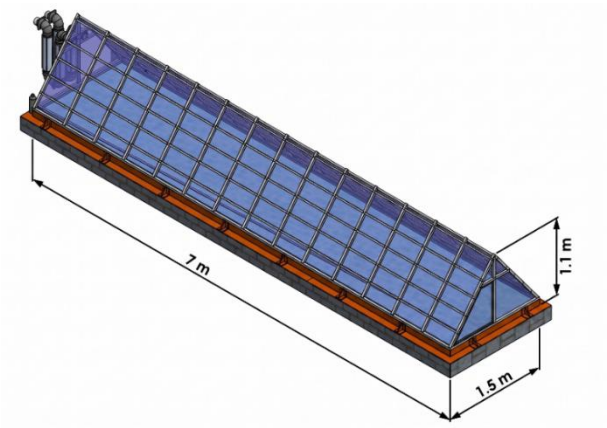
Sumber: Data Penelitian, 2026

Tabel 2. Bahan

No.	Bahan	Fungsi	Spesifikasi
1	Zinc Aluminium	Sebagai dinding kondensor, *Vortex generator*s dan Heatsink	Ketebalan 0,2 mm
2	Elbow	Sebagai sambungan bagian atas dan bawah kondensor	Diameter 4 inch, sudut 90°
3	Reducer	Sambungan penyesuaian pada saluran masuk kondensor	Diameter 4 inci ke 3 inci

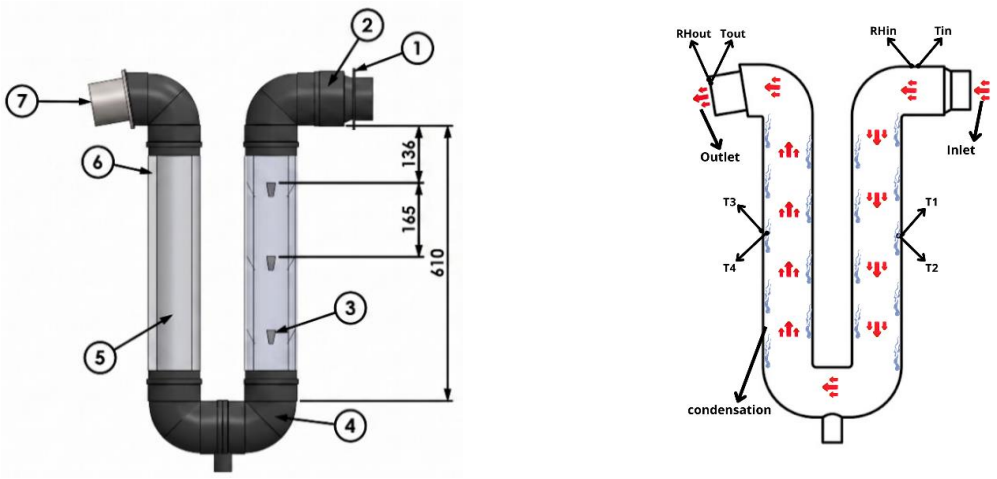
Sumber: Data Penelitian, 2026

Alat tersebut disusun menjadi satu kesatuan sistem penelitian sesuai dengan desain eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem penelitian ini terdiri atas dua unit utama, yaitu unit *solar still* yang berfungsi sebagai ruang penguapan air laut dan unit kondensor eksternal yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses kondensasi uap. Kedua unit tersebut saling terhubung untuk mendukung proses evaporasi, perpindahan uap, dan pembentukan kondensat selama pengujian.



Gambar 1. Desain Penelitian
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Solar still bekerja dengan memanfaatkan radiasi matahari untuk menguapkan air laut, uap yang terbentuk kemudian dialirkan menuju kondensor eksternal dengan bantuan exhaust. Kondensor berbentuk U digunakan agar lintasan aliran uap di dalam kondensor menjadi lebih panjang sehingga waktu antara uap dan permukaan dinding bersentuhan lebih lama dan kondensasi berlangsung efektif [11], [13], [23].



(a) (b)

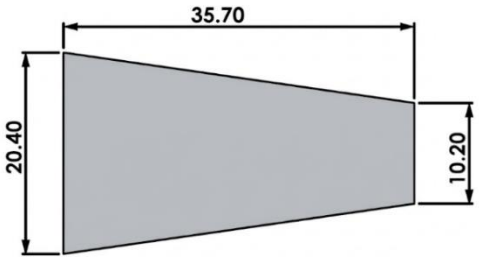
Gambar 2. (a) Komponen Kondensor, (b) Skema Penelitian
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Komponen kondensor terdiri dari: *(1) Flange, (2) Reducer, (3) Vortex, (4) Elbow, (5) Dinding Kondensor, (6) Heatsink, (7) Exhaust*. Kondensor dipasang secara berdampingan antara yang menggunakan *vortex* dan tanpa *vortex*. Pada kedua jenis kondensor memiliki mekanisme yang sama yaitu, uap yang berasal dari *solar still* masuk melalui reducer yang terpasang lalu melewati elbow, kemudian mengalir ke bawah melalui dinding kondensor pertama yang terletak di sisi kanan, setelah itu aliran berbalik arah melalui elbow bawah dan mengalir ke atas melalui dinding kondensor kedua yang disisi kiri, kemudian keluar melalui *exhaust fan*. Selama proses ini, uap yang bersentuhan dengan dinding kondensor yang suhunya lebih dingin melepaskan kalor laten dan membentuk embun yang mengalir ke bawah menuju saluran penampungan kondensat di bagian bawah [24].

Setiap kondensor dilengkapi delapan titik pengukuran diantaranya, T_{in} (uap masuk), T1 dan T2 (dinding luar dan dalam kondensor pertama), T3 dan T4 (dinding luar dan dalam kondensor kedua), serta T_{out} (uap keluar), sensor kelembapan relatif dipasang pada saluran *inlet* (RH_{in}) dan *outlet* (RH_{out}) kondensor untuk memantau perubahan kandungan uap air, yang bersama data temperatur digunakan untuk menghitung temperatur titik embun. Massa air

kondensat yang dihasilkan dari kedua kondensor ditampung secara terpisah di bagian bawah konfigurasi dan diukur massanya menggunakan timbangan digital [17].

Kondensor VG dilengkapi dengan *vortex generator* di bagian dalamnya yang berfungsi untuk menciptakan turbulensi sehingga uap terus bergerak dan menyentuh permukaan dinding kondensor [25]. *Vortex generator* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis trapezoidal yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. *Vortex Generator*s Trapezoidal
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Vortex generator trapezoidal yang digunakan memiliki dimensi lebar atas 20,40 mm, lebar bawah 10,20 mm, dan tinggi 35,70 mm, terbuat dari lembaran zinc aluminium dengan ketebalan 0,2 mm. Bentuk seperti trapesium dipilih karena berpotensi menghasilkan pusaran aliran yang lebih stabil [15], [26].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan selama 3 hari, data dikumpulkan setiap 15 menit selama 9 jam per hari, Hasil pengujian dianalisis kondensasi yang dihasilkan masing-masing konfigurasi. Pada gambar 4 terlihat kondensor yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. Kondensor
Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2026

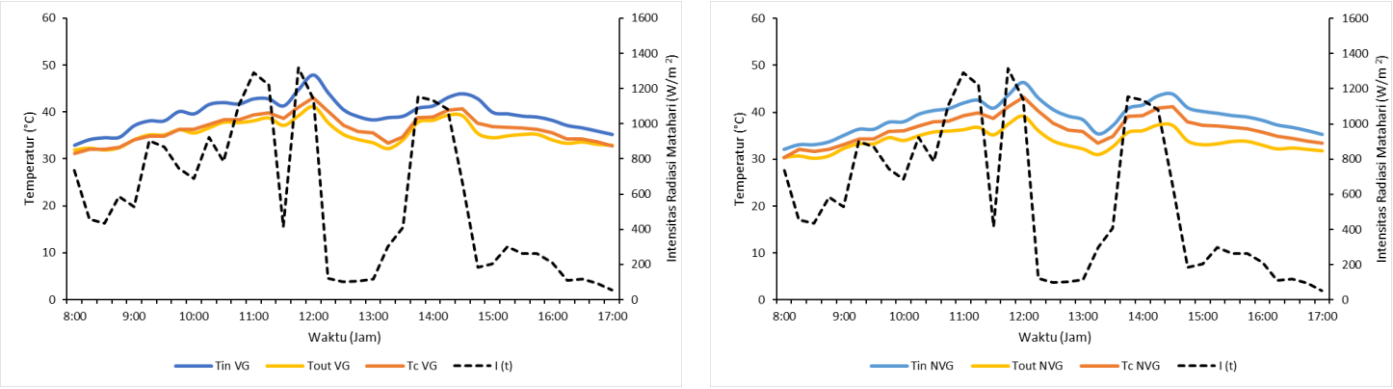
Temperatur sangat mempengaruhi penguapan air laut dan proses kondensasi yang terjadi pada kondensor [6]. Setiap kenaikan temperatur air dalam sistem dapat meningkatkan tekanan uap parsial sehingga laju evaporasi meningkat [26]. Tabel profil temperatur pada ketiga pengujian disajikan sebagai berikut:

Tabel 3. Rata-rata Data Temperatur dan Intensitas Matahari

Hari	T_{in} VG (°C)	T_{in} NVG (°C)	T_{out} VG (°C)	T_{out} NVG (°C)	T_{ci} VG (°C)	T_{ci} NVG (°C)	T_{dp} VG (°C)	T_{dp} NVG (°C)	I (W/m^2)
1	39.62	38.89	34.6	34.9	36.49	36.54	33.90	31.28	571.00
2	38.95	38.48	34.0	34.4	35.94	35.94	34.13	30.78	535.27
3	35.28	35.01	32.4	32.9	33.44	33.44	26.58	25.66	401.97

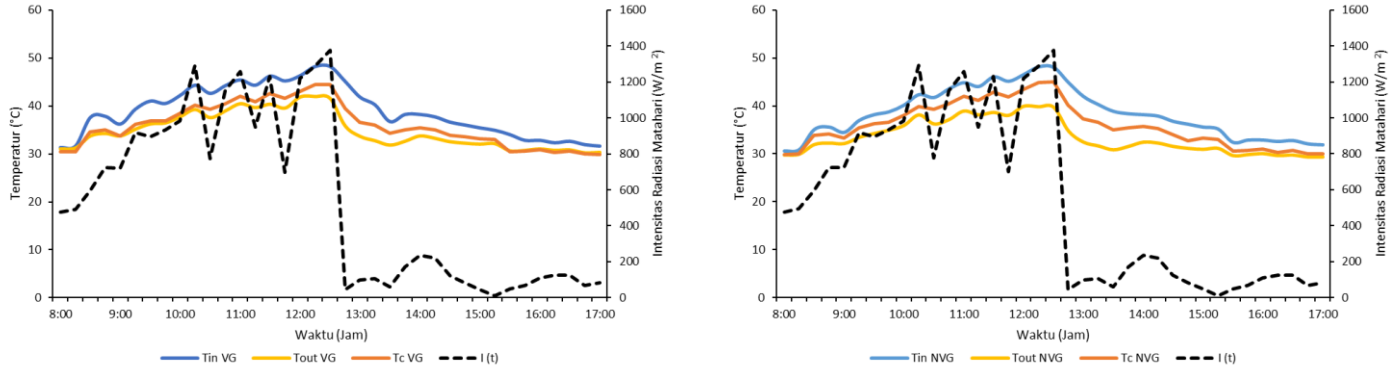
Sumber: Data Penelitian, 2026

Dari Tabel 3 terlihat bahwa T_{in} pada kondensor VG lebih besar dibandingkan kondensor NVG pada ketiga hari pengujian, dengan selisih rata-rata 0,49°C. Nilai T_c pada kedua kondensor terlihat hampir sama pada setiap hari pengujian. Grafik parameter temperatur sepanjang hari pengujian disajikan pada gambar 5 berikut:



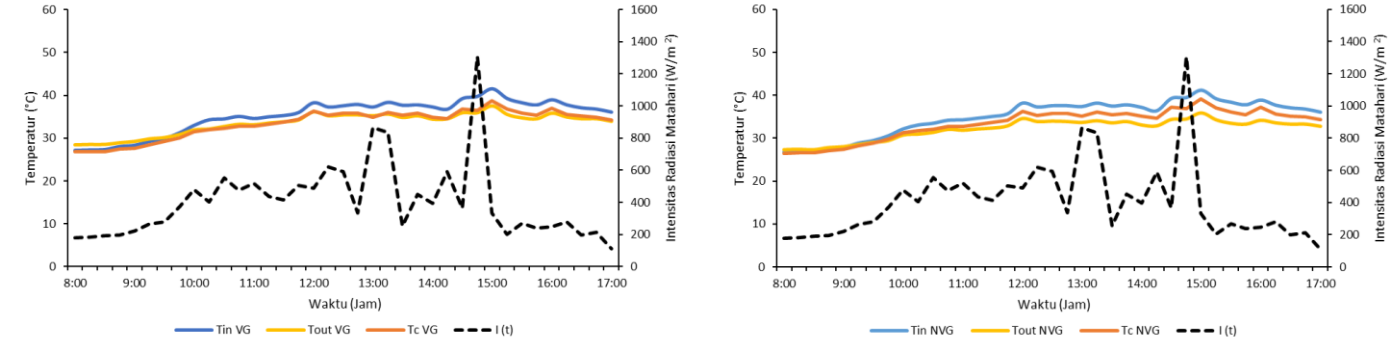
(a) *Vortex* (b) Tanpa *Vortex*

Hari 1



(a) *Vortex* (b) Tanpa *Vortex*

Hari 2



(a) *Vortex* (b) Tanpa *Vortex*

Hari 3

Gambar 5. Grafik Temperatur dan Intensitas Matahari
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Gambar 5 menunjukkan grafik profil temperatur dan intensitas matahari antara kondensor yang menggunakan *vortex* dan kondensor tanpa *vortex* selama tiga hari. Pada ketiga pengujian temperatur masuk VG dan NVG berada di atas temperatur keluar dan temperatur dinding kondensor, yang berarti terjadinya perpindahan panas dari uap yang berhasil berpindah ke

dinding kondensor. Temperatur maksimum pada hari pertama dan kedua umumnya tercapai sekitar pukul 12.00-12.30, bertepatan dengan periode intensitas radiasi matahari tertinggi. Pada hari pertama, temperatur masuk kondensor VG mencapai sekitar 47,9°C, sedangkan pada hari kedua mencapai 48,2°C. Sebaliknya, pada hari ketiga ketika rata-rata intensitas matahari menurun menjadi 401,97 W/m², temperatur maksimum hanya mencapai sekitar 41,6°C dan waktu tercapainya puncak temperatur bergeser hingga sekitar pukul 15.00. Fenomena ini menunjukkan bahwa penurunan energi radiasi matahari menyebabkan akumulasi panas dalam sistem berlangsung lebih lambat dibandingkan hari dengan intensitas radiasi yang lebih tinggi. Penurunan temperatur dari T_{in} ke T_{out} menunjukkan bahwa uap melepaskan panas ke dinding kondensor yang lebih dingin, sehingga temperatur uap menurun dan proses kondensasi terjadi. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa panas berpindah dari temperatur tinggi menuju temperatur yang lebih rendah. [11]. Dan apabila dilihat antara temperatur masuk dan keluar pada kedua kondensor, terlihat bahwa nilai kondensor VG lebih besar temperatur dengan NVG. Hal ini karena peran *vortex* yang mampu memaksimalkan perpindahan panas antara uap dengan dinding kondensor.

Kondensasi terjadi ketika temperatur permukaan kondensor berada di bawah temperatur titik embun, semakin besar selisih temperatur kondensor dan titik embun, semakin besar proses kondensasi terjadi [21], [27]. Pada waktu tertentu, temperatur titik embun lebih tinggi dibandingkan temperatur dinding, sehingga proses kondensasi terjadi pada permukaan kondensor.

Analisis kondensasi dilakukan melalui pendekatan perpindahan panas konveksi paksa, menggunakan bilangan Reynolds (Re), Prandtl (Pr), dan Nusselt (Nu) untuk menentukan koefisien konveksi (h) dan laju perpindahan panas (Q) pada kedua jenis kondensor [19].

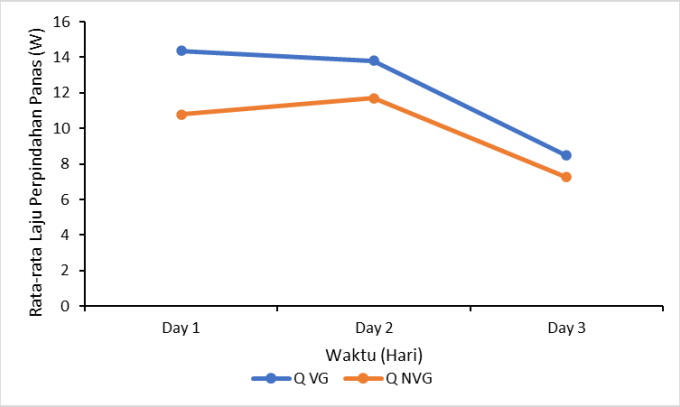
Tabel 4. Rata-rata Perhitungan Perpindahan Panas

Hari	Re VG	Re NVG	h VG (W/m^2K)	h NVG (W/m^2K)	Q VG (W)	Q NVG (W)
1	14479,98	14508,24	11,818	11,825	14,369	10,785
2	14569,35	14589,06	11,853	11,858	13,811	11,691
3	14824,74	14836,44	11,917	11,920	8,486	7,265

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2026

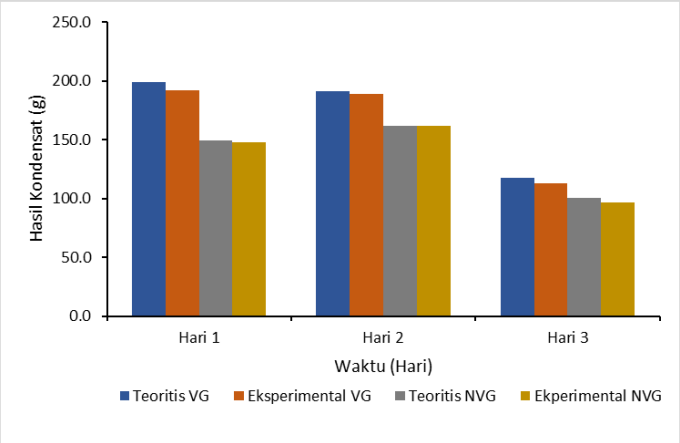
Berdasarkan hasil perhitungan bilangan Reynolds pada seluruh pengujian, kondensor NVG lebih besar daripada VG, pada hari pertama 14508,24 berbanding 14479,98, hari kedua 14589,06 berbanding 14569,35, dan hari ketiga 14836,44 berbanding 14824,74, namun perbedaannya temperaturnya relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa aliran pada kondensor NVG mengalami hambatan yang lebih rendah sehingga kecepatan aliran efektif cenderung lebih besar. Sebaliknya, penambahan *vortex generator* pada kondensor VG menyebabkan hambatan aliran meningkat, yang dapat menurunkan kecepatan aliran rata-rata namun sekaligus menghasilkan pencampuran aliran yang lebih intensif di dalam kondensor, Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan perpindahan panas pada kondensor VG tidak terutama dipengaruhi oleh kecepatan aliran, tetapi oleh proses pencampuran uap yang membuat pelepasan panas berlangsung lebih efektif [27]. Pada kedua kondensor didapatkan nilai rata-rata Pr 0,704, yang mengindikasikan perbedaan kinerja yang terjadi karena dipengaruhi karakteristik aliran bentuk pada bagian dalam kondensor, dibandingkan dengan sifat fluidanya [17].

Koefisien konveksi rata-rata keseluruhan (h) memiliki perbedaan yang kecil, hal ini disebabkan karena (h) dihitung berdasarkan Re dan Pr yang nilainya hampir serupa pada kedua kondensor [19], [28]. Perbedaan performa kedua kondensor terlihat laju perpindahan panas pada gambar 6:



Gambar 6. Laju Perpindahan Panas VG dan NVG
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Laju perpindahan panas yang berhasil dipindahkan pada kondensor VG lebih besar daripada NVG terlihat pada gambar 6, nilai pada kondensor VG sebesar 14,369 ± 3,98 W, 13,811 ± 4,59 W, 8,486 ± 3,48 W, sedangkan NVG 10,785 ± 2,19 W, 11,691 ± 4,23 W, 7,265 ± 2,93 W, nilai standar deviasi hasil pengukuran menunjukan variasi pada pengukuran dipengaruhi radiasi matahari selama pengujian. Perbedaan laju perpindahan panas ini berdampak langsung pada peningkatan produktivitas kondensat sebesar 21,4%. Perbedaan laju perpindahan panas tersebut mengindikasikan bahwa *vortex* dapat membantu kontak uap dan dinding, sehingga menghasilkan laju perpindahan panas yang lebih tinggi uap yang berakibat hasil kondensat lebih besar [15], [27]. Hasil kondensat antara aktual dan teoritis pada gambar 7:



Gambar 7. Hasil Kondensat
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Gambar 7 memperlihatkan bahwa kondensor VG menghasilkan kondensat lebih banyak di setiap harinya, total kondensat yang dihasilkan 494 gram dan 407 gram untuk kondensor NVG. Untuk melihat efektivitas masing-masing kondensor dihitung menggunakan persamaan (9), nilai efektivitas kondensasi (ε) yang merupakan perbandingan antara massa kondensat eksperimental terhadap massa kondensat teoritis, [12]. Nilai efektivitas kedua kondensor dapat dilihat pada tabel 5:

Tabel 5. Efektivitas Kondensor VG dan NVG

Hari	**Aktual VG** (g)	**Teoritis VG** (g)	ε **VG** (%)	**Aktual NVG** (g)	**Teoritis NVG** (g)	ε **NVG** (%)
1	192	199.4	96.30	148	149.5	98.97
2	189	191.7	98.62	162	162.2	99.90
3	113	117.4	96.28	97	100.5	96.55

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2026

Hasilnya kedua kondensor mendekati nilai teoritisnya pada ketiga hari pengujian. Kondensor NVG mendapatkan nilai efektivitas yang tinggi, disebabkan karena selisih massa eksperimen dan teoritis yang lebih kecil dibanding dengan VG. Namun demikian, kondensor VG tetap menghasilkan jumlah kondensat aktual yang lebih besar, sehingga kapasitas kondensasi secara keseluruhan lebih tinggi. [11].

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian menyatakan kondensor VG menghasilkan laju perpindahan panas yang lebih besar, jika dibandingkan dengan kondensor NVG sehingga ada peningkatan produktivitas kondensat sebesar 21,4%. Efektivitas kondensor VG sebesar 97,07% dan kondensor NVG 98,47% keduanya mendekati nilai teoritis, nilai NVG lebih tinggi disebabkan selisih antara aktual dan teori lebih kecil dan kondensor VG tetap menghasilkan jumlah kondensat aktual yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan adanya *vortex generator* membantu proses pelepasan panas dan proses kondensasi berlangsung lebih efektif. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada durasi pengujian yang relatif singkat dan penggunaan korelasi empiris sebagai pendekatan perhitungan. sehingga diperlukan penelitian lanjutan dengan periode pengujian lebih panjang untuk memperkuat hasil yang diperoleh dan memvariasikan bentuk-bentuk *vortex generator*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada tim penelitian *solar still*, di Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA atas dukungan teknis, bimbingan dan bantuan pendanaan penelitian DPPM Kemendiktisaintek (Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat) Nomor Kontrak 124/C3/DT/05.00/PL/2025; 0992/LL3/AL.04/2025; 299/F03.07/2025. Dukungan tersebut berkontribusi penting terhadap kelancaran penelitian dan pencapaian hasil yang diperoleh.

REFERENSI

[1] G. Gusnawati, "Pengaruh Kualitas Air Minum Isi Ulang Dengan Menggunakan Teknologi Reverse Osmosis (RO)," *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.*, vol. 8, no. 2, pp. 66–70, 2023, doi: 10.36526/v-mac.v8i2.3168.

[2] I. G. Yogi Dewantara, B. Muliawan Suyitno, and I. G. Eka Lesmana, "Desalinasi Air Laut Berbasis Energi Surya Sebagai Alternatif Penyediaan Air Bersih," *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 1–4, 2018, doi: 10.22441/jtm.v7i1.2124.

[3] H. Panchal, D. Mevada, and K. K. Sadasivuni, "Recent advancements in condensers to enhance the performance of solar still: A review," *Heat Transf.*, vol. 49, no. 6, pp. 3758–3778, 2020, doi: 10.1002/htj.21799.

[4] A. Boretti and L. Rosa, "Reassessing the projections of the World Water Development Report," *npj Clean Water*, vol. 2, no. 1, 2019, doi: 10.1038/s41545-019-0039-9.

[5] A. Pratama, J. P. M. F. Rahmadianto, G. A. Pohan, and E. E. Susanto, "Analisa Perancangan Desalinasi Air Laut Dengan Variasi Filter Tempurung Kelapa Dan Variasi Temperatur Pemanasan," vol. 12, no. February, pp. 1–5, 2021, doi: 10.36040/flywheel.v12i1.2904.

[6] C. Elango, N. Gunasekaran, and K. Sampathkumar, "Thermal models of solar still — A comprehensive review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 856–911, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.054.

[7] S. W. Sharshir, A. H. Elsheikh, G. Peng, N. Yang, M. O. A. El-Samadony, and A. E. Kabeel, "Thermal performance and exergy analysis of solar stills – A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. January, pp. 521–544, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.156.

[8] M. A. Al-Obaidi, F. L. Rashid, A. J. Hashim, S. S. Al-Musawi, Q. Almaamari, and I. M. Mujtaba, "A Review on the Impact of Condenser Technologies on Solar Still

Productivity," *Sustain.*, vol. 17, no. 23, pp. 1–45, 2025, doi: 10.3390/su172310786.
[9] T. Rahman *et al.*, "Enhancing solar still performance using external condensers and floating fins : A comparative study," *Clean. Chem. Eng.*, vol. 11, no. April, p. 100167, 2025, doi: 10.1016/j.clce.2025.100167.
[10] E. A. Saputro, W. Ningrum, M. F. Ma'arif, and A. Y. Sunarti, "Performance Analysis of Heat Exchanger At Phosphate Acid Concentrated Unit Pt Petrochemical Gresik," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 23, no. 2, pp. 83–90, 2022, doi: 10.23917/mesin.v23i2.14211.
[11] D. Mugisidi, B. Fajar, S. Syaiful, and T. Utomo, "Solar Still with an Integrated Conical Condenser," vol. 8, no. 8, pp. 122–134, 2023, doi: 10.37934/cfdl.15.8.122134.
[12] D. Mugisidi, A. Fajar, O. Heriyani, D. T. Mesin, F. Teknik, and U. M. Prof, "Peningkatan Efisiensi dan Efektivitas Kondensor pada Solar Still," *J. Tekno Sains*, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.22146/teknosains.70731.
[13] R. Kumar, L. Kumar, N. H. Mirjat, and K. Harijan, "CFD simulation of modified solar still for effective condensation and evaporation : energy and exergy analysis," no. July, pp. 1–14, 2024, doi: 10.3389/frwa.2024.1436169.
[14] S. Syaiful, "Efek Longitudinal Vortex Dihasilkan dari Vortex Generator Jenis Concave Delta dan Rectangular Winglet terhadap Perbaikan Perpindahan Panas: Visualisasi Aliran/Studi Eksperimental," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 3, pp. 167–173, 2017, doi: 10.21776/ub.jrm.2017.008.03.7.
[15] P. Saini, A. Dhar, and S. Powar, "Performance enhancement of fin and tube heat exchanger employing curved trapezoidal winglet vortex generator with circular punched holes," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 209, p. 124142, 2023, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124142.
[16] W. Si *et al.*, "Numerical study of flow and heat transfer in the channel of panel-type radiator with semi-detached inclined trapezoidal wing vortex generators," *Open Phys.*, vol. 22, no. 1, 2024, doi: 10.1515/phys-2023-0180.
[17] D. Mugisidi, A. Rahman, and P. H. Gunawan, "Determination of the Convective Heat Transfer Constant (C and N) in a Solar Still," vol. 11, pp. 1–12, 2021, doi: 10.22146/teknosains.50908.
[18] J. P. Holman, *Heat Transfer*, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2010. doi: 10.1080/01973762.1999.9658510.
[19] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera, and D. P. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 8th ed. Hoboken: Wiley, 2017.
[20] A. Saiful, G. Soebiyakto, and N. Finahari, "Analisis Kavitasi dan Karakteristik Aliran Bukaan Katup Globe Valve Menggunakan Simulasi Solidworks," *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.*, vol. 9, no. 1, pp. 19–28, 2024, doi: 10.36526/v-mac.v9i1.3533.
[21] M. G. Lawrence, "The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air," no. February, pp. 225–233, 2005, doi: 10.1175/BAMS-86-2-225.
[22] D. A. Dwibowo, D. Mugisidi, O. Heriyani, R. Alamsyach, and S. Amin, "Effect of water pressure and temperature on the perform- ance of a desalination reactor," *J. Polimesin*, vol. 23, no. 6, 2025.
[23] Nurkholid, D. Mugisidi, O. Heriyani, I. Sulistiono, and E. Indorama, "Enhancing Seawater desalination performance using a vortex generator in a modified window air conditioner," *J. Polimesin*, vol. 23, no. 1, pp. 38–42, 2025, doi: 10.30811/jpl.v23i1.6110.
[24] D. Mugisidi and O. Heriyani, "Improving the Performance of a Forced-flow Desalination Unit using a Vortex Generator," vol. 10, no. 10, pp. 81–93, 2024.
[25] A. Valencia and N. K. Mitra, "Wing-Type Vortex Generators for Fin-and-Tube Heat Exchangers," pp. 287–295, 1993, doi: 10.1016/0894-1777(93)90052-K.

[26] A. T. Sayuti, D. Mugisidi, R. Wirangga, O. Heriyani, and J. T. Mesin, "The Influence of Water Temperature on Seawater Evaporation in the Desalination Prosess," pp. 113–119, 2023, doi: 10.24853/sintek.17.2.113-119.

[27] L. Bilir, B. Ozerdem, A. Erek, and Z. Ilken, "Heat transfer and pressure drop characteristics of fin-tube heat exchangers with different types of vortex generator configurations," *J. Enhanc. Heat Transf.*, vol. 17, no. 3, pp. 243–256, 2010, doi: 10.1615/JEnhHeatTransf.v17.i3.40.

[28] A. Oktavian, D. Mugisidi, R. Alamsyach, and O. Heriyani, "Convective Coefficient and Evaporative in Forced Flow Solar Still," *J. Asiimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 6, pp. 351–360, 2024, doi: 10.35814/asiimetrik.v6i2.6937.