

ANALISIS PENGARUH BUKAAN INLET TERHADAP KINERJA *SOLAR STILL* TERINTEGRASI *SOLAR THERMAL COLLECTOR*

Ivana Dzakiyyah Ramadhani¹, Ridho Hantoro², Erna Septiyaningrum³

ivanadzakiyyah@gmail.com¹, hantoro@its.ac.id², septyaningrum@its.ac.id³

Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 60111, Indonesia

ABSTRAK

Keterbatasan air bersih dan rendahnya produktivitas *solar still* konvensional menjadi dasar pengembangan sistem desalinasi surya yang lebih efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi luas bukaan inlet *solar thermal collector* terhadap kinerja *double slope solar still* yang terintegrasi dengan *flat plate solar thermal collector*. Variasi luas bukaan inlet yang digunakan adalah 0,012 m², 0,024 m², 0,036 m², 0,048 m², dan 0,060 m². Analisis dilakukan secara analitik menggunakan metode *thermal resistance network* dengan mempertimbangkan laju aliran massa udara, energi panas berguna, laju evaporasi, efisiensi termal, dan produktivitas distilat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan luas bukaan inlet menyebabkan kenaikan performa sistem. Laju aliran massa meningkat dari 0,0031 kg/s menjadi 0,0155 kg/s, energi panas berguna sistem SS+STC meningkat dari 186,60 W menjadi 933,04 W, laju evaporasi meningkat dari $8,2 \times 10^{-5}$ kg/s menjadi $4,12 \times 10^{-4}$ kg/s, produktivitas meningkat dari 0,13 L/m² menjadi 0,65 L/m², dan efisiensi termal meningkat dari 7% menjadi 36%. Hal ini menunjukkan bahwa bukaan inlet 0,060 m² memberikan kinerja terbaik pada rentang variasi penelitian ini.

Kata Kunci: Laju Aliran Massa, Laju Evaporasi, *Solar Still*, *Solar Thermal Collector*, Efisiensi Termal.

ABSTRACT

Limited clean water availability and the low productivity of conventional solar stills have encouraged the development of more effective solar desalination systems. This study aims to analyze the effect of inlet opening area variation in a solar thermal collector on the performance of a double-slope solar still integrated with a flat-plate solar thermal collector. The inlet opening areas investigated were 0.012 m², 0.024 m², 0.036 m², 0.048 m², and 0.060 m². The analysis was carried out analytically using a thermal resistance network approach by evaluating air mass flow rate, useful heat gain, evaporation rate, thermal efficiency, and distillate productivity. The results show that increasing the inlet opening area improves the system performance. The air mass flow rate increased from 0.0031 kg/s to 0.0155 kg/s, while the useful heat gain of the SS+STC system increased from 186.60 W to 933.04 W. The evaporation rate increased from 8.2×10^{-5} kg/s to 4.12×10^{-4} kg/s, productivity increased from 0.13 L/m² to 0.65 L/m², and thermal efficiency increased from 7% to 36%. The 0.060 m² inlet opening provided the best performance within the tested variation range.

Keywords: Mass Flow Rate, Evaporation Rate, Solar Still, Solar Thermal Collector, Thermal Efficiency.

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya penting untuk menopang kehidupan manusia, baik untuk kebutuhan domestik, pertanian, maupun industri. Di bumi, sekitar 97,5% air berada dalam bentuk asin, sehingga hanya sekitar 2,5% yang tersedia sebagai air tawar dan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia (Xu & Luo, 2025). Ketersediaan air tawar tersebut semakin terbatas akibat pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, perubahan pola konsumsi, serta peningkatan kebutuhan air pada sektor pertanian, industri, dan rumah tangga. Menurut laporan Perserikatan Bangsa-Bangsa, penggunaan air tawar global terus meningkat dengan laju kurang dari 1% per tahun, di mana sekitar 70% digunakan untuk

pertanian, 20% untuk industri, dan 10% untuk kebutuhan domestik (Alawee et al., 2021; Essa et al., 2022a). Selain itu, lebih dari 780 juta orang di dunia masih terdampak kelangkaan air bersih (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Di Indonesia, data Badan Pusat Statistik tahun 2024, menunjukkan bahwa akses rumah tangga terhadap air minum layak belum sepenuhnya merata, terutama antara wilayah perkotaan dan pedesaan (BPS, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa teknologi penyediaan air bersih yang sederhana, hemat energi, dan dapat diterapkan di wilayah pesisir maupun daerah dengan keterbatasan akses air bersih masih sangat diperlukan.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan keterbatasan air bersih adalah desalinasi. Desalinasi merupakan proses pemisahan garam dan mineral dari air laut atau air payau sehingga menghasilkan air tawar yang dapat dimanfaatkan (Bhardwaj et al., 2013). Secara umum, teknologi desalinasi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu desalinasi membran dan desalinasi termal. Desalinasi membran, seperti reverse osmosis dan elektrodialisis, bekerja dengan memanfaatkan membran permeabel untuk memisahkan garam tanpa perubahan fase (Qiblawey & Banat, 2008). Sementara itu, desalinasi termal bekerja melalui proses pemanasan, penguapan, dan kondensasi air laut. Metode membran saat ini mendominasi sistem desalinasi terpasang di dunia, yaitu sekitar 69–73%, sedangkan metode termal mencakup sekitar 27% (Marghade et al., 2023; Tony & Nabwey, 2024a). Meskipun demikian, sistem desalinasi termal berbasis energi surya tetap memiliki potensi besar karena memanfaatkan sumber energi terbarukan yang melimpah, khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia.

Solar still merupakan salah satu teknologi desalinasi termal sederhana yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menguapkan air laut dan mengembunkan uap air menjadi air tawar. Prinsip kerja *solar still* menyerupai siklus hidrologi alami, yaitu air laut dipanaskan oleh radiasi matahari, kemudian mengalami evaporasi, uap air bergerak menuju permukaan kaca yang temperaturnya lebih rendah, lalu mengalami kondensasi dan dikumpulkan sebagai air distilat (Feria-Díaz et al., 2021; Tony & Nabwey, 2024b). Keunggulan utama *solar still* adalah konstruksinya sederhana, biaya operasional rendah, tidak membutuhkan energi fosil, serta ramah lingkungan. Namun, kelemahan utama sistem ini adalah produktivitas air distilat yang masih rendah karena proses evaporasi sangat bergantung pada intensitas radiasi matahari dan temperatur air di dalam basin (Essa et al., 2022b). Pada sistem *solar still* pasif, energi panas yang diterima hanya berasal dari radiasi matahari langsung, sehingga kenaikan temperatur air terbatas dan laju evaporasi tidak selalu optimal.

Untuk meningkatkan kinerja *solar still*, salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah integrasi dengan *solar thermal collector* (STC). STC berfungsi sebagai perangkat tambahan untuk menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang kemudian dialirkan menuju sistem *solar still*. Pada sistem integrasi *solar still* dengan STC, udara dipanaskan di dalam kolektor melalui kontak termal dengan absorber, kemudian udara panas tersebut dialirkan menuju ruang evaporasi pada *solar still*. Tambahan panas dari STC dapat meningkatkan temperatur operasi, memperbesar beda temperatur antara air basin dan kaca penutup, serta mempercepat proses evaporasi. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan kolektor eksternal dapat meningkatkan produktivitas *solar still*. Penelitian pada sistem *double slope solar still* yang diintegrasikan dengan *parabolic trough collector* menunjukkan peningkatan produktivitas air distilat hingga 8,53 kg/m²/hari pada musim panas dan 4,03 kg/m²/hari pada musim dingin (Hassan, 2020; Vimal Dev Naidu, 2024). Hal ini membuktikan bahwa suplai energi panas tambahan dari kolektor memiliki peran penting dalam meningkatkan performa sistem desalinasi

surya.

Meskipun integrasi *solar still* dengan kolektor telah banyak diteliti, aspek desain aliran udara pada STC, khususnya luas bukaan inlet, masih perlu dikaji lebih lanjut. Bukaan inlet merupakan bagian penting pada STC karena menentukan jumlah udara yang masuk ke dalam kolektor. Luas bukaan inlet memengaruhi laju aliran massa udara, karakteristik aliran, waktu tinggal udara di dalam kolektor, perpindahan panas konveksi antara absorber dan udara, serta jumlah energi panas yang dapat dibawa menuju ruang evaporasi *solar still* (Bangura et al., 2022). Bukaan inlet yang terlalu kecil dapat membatasi suplai udara, menimbulkan hambatan aliran, menyebabkan stagnasi, dan membuat distribusi panas kurang merata. Sebaliknya, bukaan inlet yang lebih besar dapat meningkatkan laju aliran massa udara dan memperbesar kemampuan udara dalam membawa panas dari absorber menuju ruang evaporasi. Namun, peningkatan laju aliran massa juga perlu dianalisis secara hati-hati karena aliran yang terlalu cepat dapat mengurangi waktu tinggal udara di dalam kolektor sehingga proses penyerapan panas tidak selalu berlangsung optimal.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi luas bukaan inlet pada *solar thermal collector* terhadap kinerja sistem *solar still* terintegrasi STC. Sistem yang dikaji terdiri atas *solar still* (SS), *solar thermal collector* (STC), dan sistem integrasi SS+STC. Variasi luas bukaan inlet yang digunakan adalah 0,012 m², 0,024 m², 0,036 m², 0,048 m², dan 0,060 m². Analisis dilakukan untuk mengetahui hubungan antara perubahan luas bukaan inlet dengan laju aliran massa udara, energi panas berguna, laju evaporasi, efisiensi termal, dan produktivitas air distilat. Dengan demikian, fokus utama penelitian ini bukan hanya melihat peningkatan panas akibat penambahan STC, tetapi juga mengkaji bagaimana desain inlet kolektor memengaruhi mekanisme perpindahan panas dan proses evaporasi pada sistem *solar still*. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan dasar perancangan sistem desalinasi surya aktif yang lebih efektif, sederhana, hemat energi, dan sesuai untuk diterapkan pada wilayah pesisir atau daerah yang memiliki keterbatasan akses air bersih.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode analitik terhadap kinerja sistem *solar still* dengan *solar thermal collector*. Perubahan kinerja *solar still* dari integrasi *solar thermal collector* akan dianalisa berdasarkan analitik dengan parameter yang digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini difokuskan pada peningkatan hasil air distilat dari *solar thermal collector* dan *solar still*. Penelitian ini dilakukan secara analitik untuk mengetahui pengaruh penggunaan *solar thermal collector* terhadap kinerja sistem *solar still* dengan *solar thermal collector*. Variasi yang dilakukan adalah penggunaan *solar thermal collector*, laju aliran massa, dan bukaan inlet di *solar thermal collector*. Pengolahan data dilakukan untuk menghitung efisiensi kolektor surya.

Persamaan untuk menghitung perolehan panas yang berguna dari kolektor surya dalam kondisi stabil dapat dihitung secara sederhana berdasarkan perolehan dan kehilangan panas matahari dengan Persamaan (1) berikut.

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_o - T_{in}) \quad (1)$$

Di mana,

Q_u = laju panas berguna (*Useful Heat Gain*) (W)

$\dot{m}$ = laju aliran massa fluida (kg/s)

C_p = kalor jenis fluida (J/kg. K)

T_o = temperatur fluida keluar kolektor (°C atau K)

T_{in} = temperatur fluida masuk kolektor (°C atau K) (Theodore L. Bergman, 2011).

- **Perhitungan Efisiensi Thermal (η)**

Dalam proses perpindahan panas, dibutuhkan perhitungan kinerja kolektor dalam mengubah radiasi matahari menjadi panas yang diserap oleh udara menggunakan parameter efisiensi kolektor. Efisiensi dihitung dengan perbandingan antara energi panas yang diserap udara dengan total energi matahari yang jatuh pada permukaan kolektor dengan Persamaan (2) sebagai berikut (Beckman and Blair, 2020).

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_C} \quad (2)$$

Di mana,

η = efisiensi *solar termal collector* (%)

Q_u = energi panas yang diserap udara (W),

A_C = luas kolektor (m²),

I_T = intensitas radiasi matahari (W/m²) (Duffie et al., 2020).

- **Perhitungan Laju Aliran Massa ($\dot{m}$)**

Laju aliran massa (*mass flow rate*) adalah massa suatu fluida yang mengalir per satuan waktu. *Mass flow rate* disebut fluks massa atau arus massa, di mana dalam satuan internasional (SI) adalah kilogram per detik (kg/s). Untuk menghitung laju aliran massa yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) berikut.

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \quad (3)$$

Dengan,

$\dot{m}$ = laju aliran massa (kg/s),

ρ = massa jenis udara sebesar 1,293 (kg/m³),

v = kecepatan aliran udara (m/s),

A = luas penampang (m²) (Theodore L. Bergman, 2011)

- **Perhitungan Laju Evaporasi ($\dot{m}$)**

Laju aliran massa (*mass flow rate*) adalah massa suatu fluida yang mengalir per satuan waktu. *Mass flow rate* disebut fluks massa atau arus massa, di mana dalam satuan internasional (SI) adalah kilogram per detik (kg/s). Untuk menghitung laju aliran massa yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) berikut.

$$\dot{m} = \frac{Q_u}{h_{fg}} \quad (4)$$

Dengan,

$\dot{m}$ = laju evaporasi (kg/s),

Q_u = energi panas yang diserap udara (W),

h_{fg} = kalor laten penguapan (Duffie et al., 2020).

- **Perhitungan Jumlah Produktivitas Air ($\dot{V}$)**

Penelitian ini untuk mengetahui jumlah produktivitas yang dihasilkan dari sistem solar still dengan integrasi *flat plate collector* menggunakan variasi bahan absorber. Jumlah air yang terkondensasi atau produktivitas dalam per hari dapat dihitung dengan Persamaan (5) dan Persamaan (6) sebagai berikut.

$$\dot{m} = m \times 3600 \text{ detik/jam} \times 12 \text{ jam/hari} \quad (5)$$

Atau dalam basis volumetric berikut.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (6)$$

Dengan,

$\dot{V}$ = jumlah air produktivitas ($\frac{kg}{m^2}$ atau L/m²)

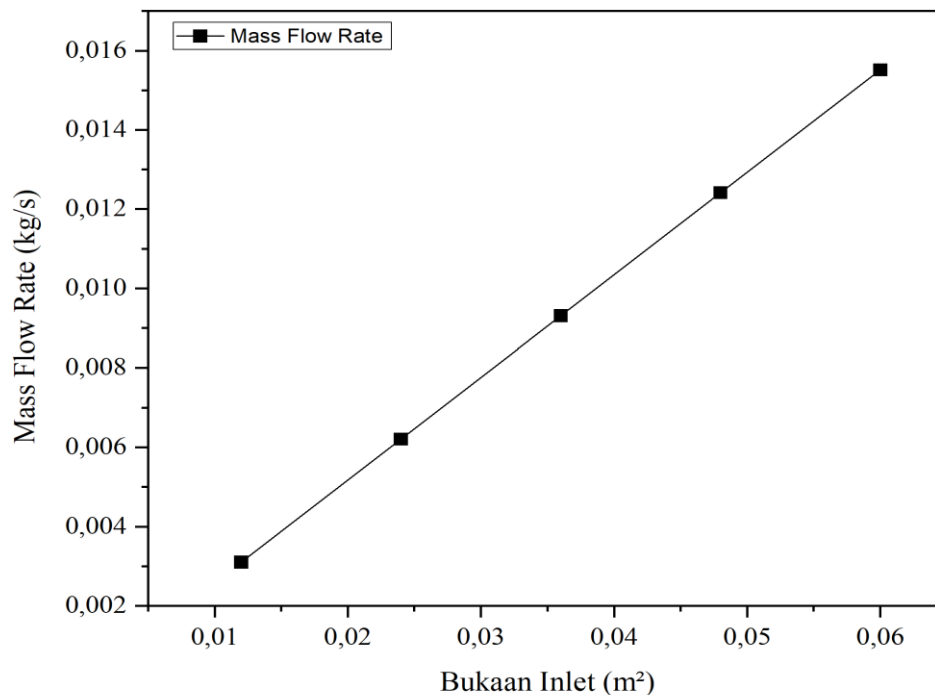
$\dot{m}$ = laju evaporasi (kg/s/hari)

ρ = massa jenis air (kg/m³) (Incropera dan DeWitt, 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Bukaannya Inlet terhadap Laju Aliran Massa

Bukaan inlet pada *solar thermal collector* (STC) merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi karakteristik aliran udara di dalam sistem. Bukaan inlet berfungsi sebagai jalur masuk udara menuju STC, sehingga variasi luas bukaan inlet untuk menentukan laju aliran massa pada STC, dan fluida udara mengalir melewati absorber. Dalam penelitian ini, variasi luas bukaan inlet yang digunakan adalah 0,012 m², 0,024 m², 0,036 m², 0,048 m², dan 0,060 m². Grafik pengaruh luas bukaan inlet terhadap laju aliran massa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Variasi Luas Bukaannya Inlet Terhadap Laju Aliran Massa.

Tabel 1. Hasil Data Perhitungan Pengaruh Variasi Luas Bukaannya Inlet Terhadap Energi Panas yang Berguna (Q_u), Laju Aliran Massa, dan Laju Evaporasi Seiring Fungsi Waktu Pada Sistem.

Presentase Luas Bukaannya Inlet (%)	Luas Bukaannya Inlet (m ²)	SS	STC		SS + STC	
		$Q_{u,ss}$ (W)	$Q_{u,stc}$ (W)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q_{u,ss+stc}$ (W)	$\dot{m}_{evap}$ (kg/s)
10	0,012	68,3	118,3	0.0031	186,6	0.000082
20	0,024	136,6	236,61	0.0062	373,21	0.000165
30	0,036	204,91	354,91	0.0093	559,82	0.000247
40	0,048	273,21	473,22	0.0124	746,435	0.000330
50	0,06	341,51	591,52	0.0155	933,04	0.000412

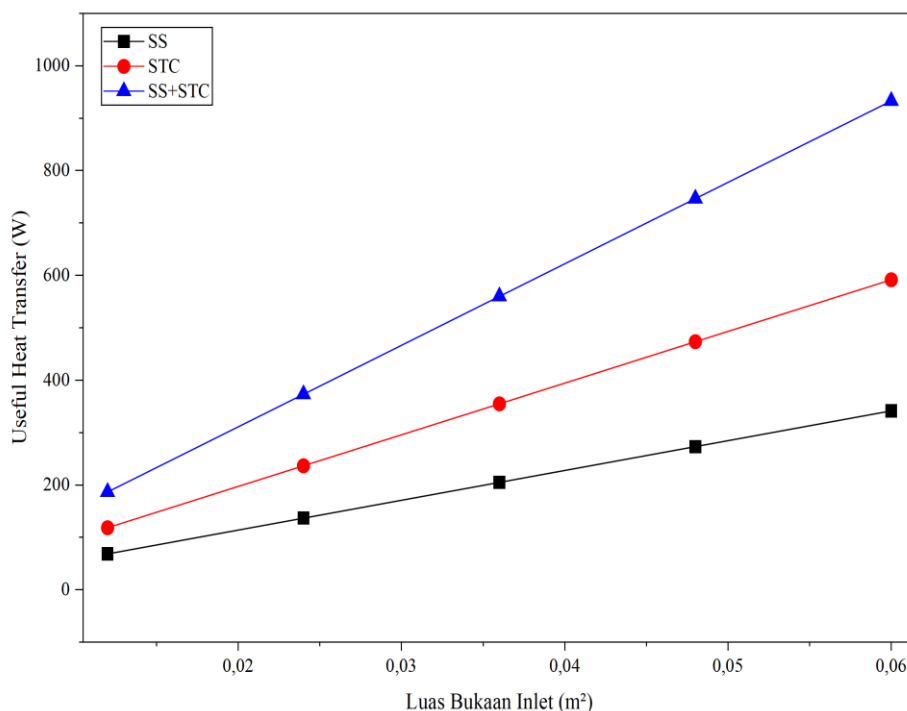
Berdasarkan Gambar 1, menunjukkan bahwa peningkatan luas bukaan inlet menyebabkan kenaikan laju aliran massa pada sistem STC. Pada sistem STC dapat dianalisa laju aliran massa ($\dot{m}$) meningkat secara bertahap pada luas bukaan inlet 0,012 m² didapatkan $\dot{m}$ sebesar 0,0031 kg/s, luas bukaan inlet 0,024 m² didapatkan $\dot{m}$ sebesar 0,0062 kg/s, luas bukaan inlet 0,036 m² didapatkan $\dot{m}$ sebesar menjadi 0,0093 kg/s, luas bukaan inlet 0,048 m² didapatkan $\dot{m}$ sebesar sebesar 0,0124 kg/s, dan pada bukaan inlet 0,06 m² didapatkan nilai $\dot{m}$ tertinggi sebesar 0,0155 kg/s. Adanya peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar luas bukaan inlet, semakin besar kapasitas udara yang dapat masuk ke dalam STC (Hassan, 2020).

Hal ini terjadi karena bukaan inlet yang lebih besar dapat mengurangi hambatan aliran pada sisi masuk, sehingga udara lingkungan lebih mudah masuk dan bergerak melewati saluran *collector*. Perbedaan nilai laju aliran massa antara sistem STC dan SS+STC menunjukkan bahwa konfigurasi sistem terintegrasi memiliki performa aliran yang lebih baik. Pada seluruh variasi bukaan inlet, sistem SS+STC selalu menghasilkan laju aliran massa lebih tinggi dibandingkan sistem STC. Pada bukaan inlet $0,060 \text{ m}^2$, laju aliran massa STC sebesar $0,0536 \text{ kg/s}$, sedangkan pada sistem SS+STC mencapai $0,0846 \text{ kg/s}$. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi SS+STC dapat meningkatkan suplai udara panas yang masuk ke sistem dengan fluida udara panas tersebut, untuk membawa energi termal tambahan yang berpotensi meningkatkan laju evaporasi.

Bukaan inlet tidak hanya meningkatkan jumlah udara yang masuk, tetapi juga memperkuat proses perpindahan panas konveksi dari absorber menuju udara. Sedangkan, bukaan inlet menyebabkan jumlah udara yang masuk terbatas sehingga kemampuan udara dalam membawa panas menuju *solar still* menjadi rendah. Selain itu, aliran yang terlalu kecil dapat menyebabkan stagnasi udara di dalam kolektor, distribusi panas kurang merata, dan munculnya hot spot pada permukaan absorber. *Hot spot* ini menunjukkan adanya akumulasi panas yang tidak berhasil dipindahkan secara efektif ke udara.

2. Pengaruh Bukaan Inlet terhadap Energi Panas Berguna

Penelitian ini menganalisa bagaimana pengaruh variasi luas bukaan inlet pada *solar thermal collector* terhadap energi panas yang berguna (Q_u) pada sistem *solar still* (SS), *solar thermal collector* (STC), dan sistem terintegrasi SS+STC. Nilai (Q_u) menjadi parameter penting karena menunjukkan seberapa besar energi panas yang berhasil dimanfaatkan oleh sistem untuk memanaskan udara dan mendukung proses evaporasi. Variasi penelitian antara lain bukaan inlet $0,012 \text{ m}^2$; $0,024 \text{ m}^2$; $0,036 \text{ m}^2$; $0,048 \text{ m}^2$; dan $0,060 \text{ m}^2$ secara berurutan untuk melihat pengaruhnya terhadap mekanisme aliran udara, perpindahan panas, dan potensi peningkatan laju evaporasi.



Gambar 2. Pengaruh Variasi Luas Bukaan Inlet Terhadap Energi Panas yang Berguna (Q_u).

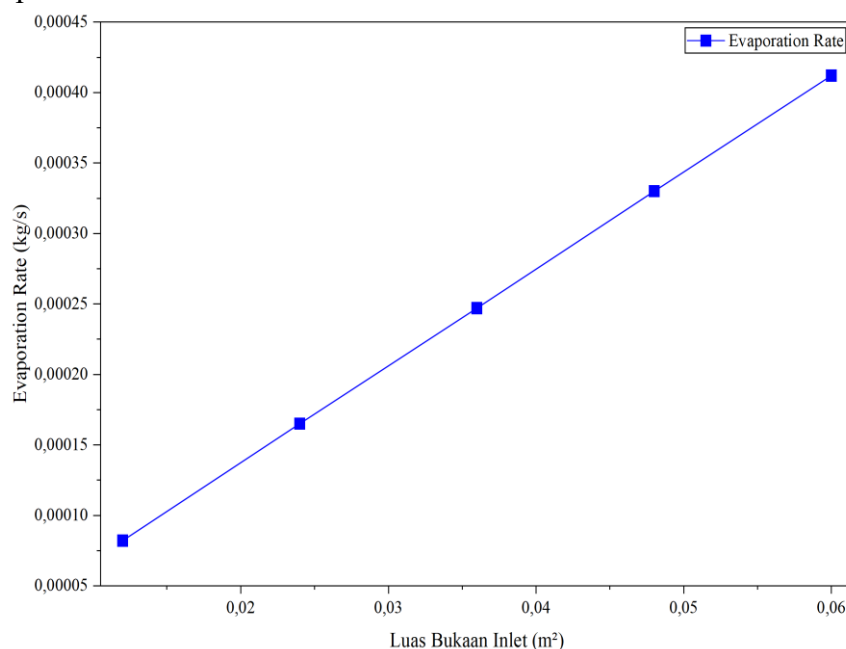
Berdasarkan Gambar 2, menunjukkan bahwa peningkatan luas bukaan inlet menyebabkan nilai energi panas yang berguna meningkat pada sistem SS, STC, dan

SS+STC. Hal ini terjadi karena bukaan inlet yang lebih besar menurunkan hambatan aliran udara masuk, sehingga debit udara dan laju aliran massa udara meningkat. Kenaikan berpengaruh terhadap peningkatan bilangan Reynolds, sehingga intensitas perpindahan panas konveksi antara absorber dan udara menjadi lebih kuat. Sehingga, panas yang diserap absorber dari radiasi matahari dapat lebih efektif diambil oleh udara sebagai energi panas berguna (A. Neama & Mustafa, 2020).

Berdasarkan Tabel 1, menunjukkan bahwa pada sistem SS, nilai Q_u meningkat dari bukaan inlet 0,012 m² hingga 0,060 m². Nilai Q_u pada bukaan inlet 0,012 m² didapatkan sebesar 68,3 W hingga pada bukaan 0,060 m² meningkat sebesar 341,51 W, untuk sistem STC nilai Q_u didapatkan sebesar 118,3 W hingga pada bukaan 0,060 m² meningkat sebesar 591,52 W. Pada sistem SS+STC, nilai Q_u didapatkan sebesar 186,6 W, hingga pada bukaan inlet 0,060 m² meningkat sebesar 933,04 W. Hal ini menunjukkan bahwa SS+STC lebih signifikan terhadap perubahan luas inlet karena mekanisme utamanya adalah perpindahan panas dari absorber ke udara ke *solar still*. Semakin besar bukaan inlet, semakin besar massa udara yang melewati absorber, sehingga kemampuan udara dalam membawa panas keluar dari kolektor meningkat (Chabane et al., 2014).

3. Pengaruh Bukaan Inlet terhadap Laju Evaporasi

Penelitian ini menganalisa bagaimana pengaruh variasi luas bukaan inlet 0,012 m², 0,024 m², 0,036 m², 0,048 m², dan 0,060 m² terhadap laju evaporasi pada sistem SS dan SS+STC. Bukaan inlet pada *solar thermal collector* menentukan kecepatan udara dan laju aliran massa udara. Pengaruh variasi luas bukaan inlet terhadap laju evaporasi dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Variasi Luas Bukaan Inlet Terhadap Laju Evaporasi.

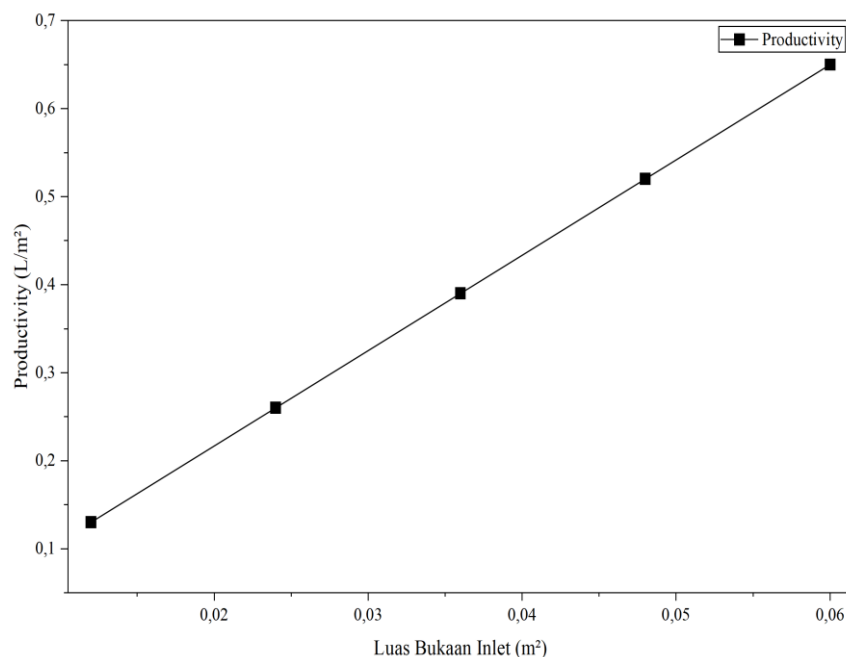
Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan bahwa bukaan inlet 0,012 m² menghasilkan laju evaporasi sebesar $8,2 \times 10^{-5}$ kg/s. Ketika inlet diperbesar menjadi 0,024 m², laju evaporasi meningkat menjadi $1,65 \times 10^{-4}$ kg/s. Pada bukaan inlet 0,036 m², nilainya naik menjadi $2,47 \times 10^{-4}$ kg/s, kemudian mencapai $3,3 \times 10^{-4}$ kg/s pada bukaan inlet 0,048 m², dan pada bukaan inlet 0,060 m² sebesar $4,12 \times 10^{-4}$ kg/s. Dalam variasi penelitian ini, bukaan inlet 0,060 m² memberikan performa terbaik karena menghasilkan laju aliran massa tertinggi yaitu $4,12 \times 10^{-4}$ kg/s. Semakin besar luas bukaan inlet, semakin besar laju aliran massa

udara yang masuk ke kolektor. Peningkatan laju aliran massa tersebut memperbesar kemampuan udara dalam membawa panas dari absorber menuju ruang *solar still*.

Berdasarkan hasil data perhitungan analitik pada Tabel 1, menunjukkan bahwa variasi bukaan inlet bukaan inlet 0,060 m² menyebabkan hambatan aliran berkurang, laju aliran massa meningkat. Pada sistem SS+STC tidak hanya menerima panas dari radiasi langsung pada basin, tetapi juga dari udara panas yang keluar dari *collector*. Penambahan kolektor udara pada *solar still* dapat meningkatkan temperatur kerja dan produktivitas karena panas yang dibawa udara memperkuat proses evaporasi, hal ini sesuai dengan penelitian oleh (Ghazy, 2023) pada studi *solar still* dengan *solar air heater* dan sistem hibrida, di mana mampu meningkatkan laju evaporasi. Dalam menentukan sisi titik optimum, menunjukkan bahwa bukaan 0,060 m² masih menjadi variasi terbaik karena menghasilkan laju evaporasi tertinggi pada sistem SS+STC.

4. Pengaruh Bukaan Inlet terhadap Produktivitas dan Efisiensi Termal

Penelitian ini variasi luas bukaan inlet 0,012 m², 0,024 m², 0,036 m², 0,048 m², dan 0,060 m² terhadap produktivitas distilat pada sistem SS+STC. Produktivitas merupakan hasil akhir dari proses evaporasi dan kondensasi, sehingga hasil produktivitas distilat tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya panas yang masuk, tetapi juga oleh kemampuan sistem mengubah air menjadi uap yang terjadi di dalam *solar still* dan mengembunkannya kembali pada permukaan kaca.



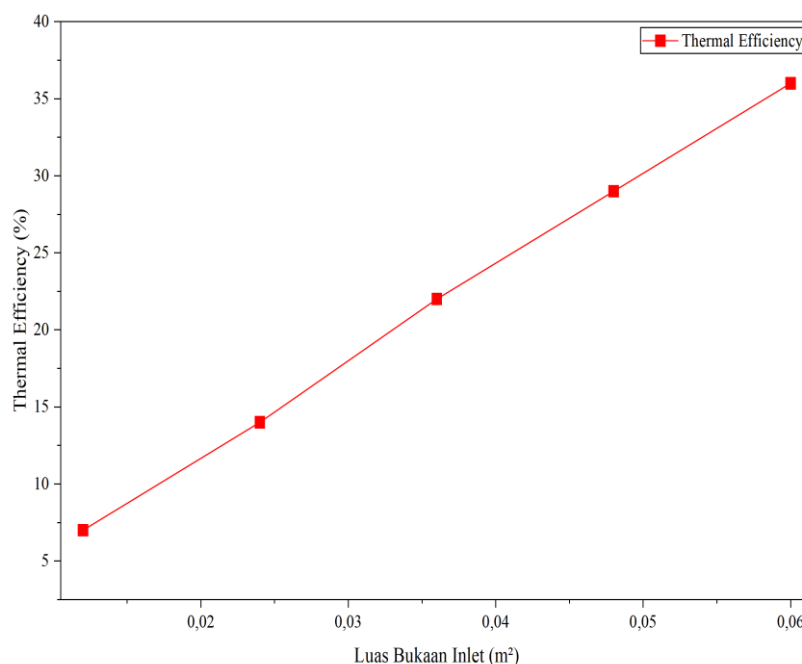
Gambar 4. Pengaruh Variasi Luas Bukaan Inlet Terhadap Produktivitas (∇).

Tabel 2. Hasil Data Perhitungan Pengaruh Variasi Luas Bukaan Inlet Terhadap Energi Panas yang Berguna (Q_u), Laju Aliran Massa, dan Laju Evaporasi Seiring Fungsi Waktu Pada Sistem.

Presentase Luas Bukaan Inlet (%)	Bukaan Inlet (m ²)	Produktivitas (L/m ²)
10	0,012	0,13
20	0,024	0,26
30	0,036	0,39
40	0,048	0,52
50	0,06	0,65

Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan bahwa produktivitas meningkat secara berurutan seiring bertambahnya luas bukaan inlet. Pada bukaan inlet 0,012 m² menghasilkan produktivitas sebesar 0,13 L/m². Ketika bukaan inlet diperbesar menjadi 0,024 m², produktivitas meningkat menjadi 0,26 L/m². Pada bukaan inlet 0,036 m², produktivitas naik menjadi 0,39 L/m², kemudian meningkat menjadi 0,52 L/m² pada bukaan inlet 0,048 m², dan mencapai nilai tertinggi sebesar 0,65 L/m² pada bukaan inlet 0,060 m². Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar bukaan inlet, semakin besar udara yang dapat masuk dan membawa panas dari absorber menuju *solar still*. Peningkatan luas bukaan inlet menyebabkan hambatan aliran pada sisi masuk kolektor semakin kecil. Sehingga, kecepatan udara dan laju aliran massa udara ($\dot{m}$) meningkat, udara mampu mengambil panas lebih besar dari absorber dan membawa energi panas berguna (Q_u) menuju ruang *solar still*.

Energi panas tersebut meningkatkan temperatur air basin dan mempercepat laju evaporasi. Hubungan ini dapat dijelaskan melalui persamaan $\dot{m}_{evap} = \frac{Q_u}{h_{fg}}$, di mana semakin besar (Q_u), semakin besar energi panas yang tersedia untuk proses penguapan (Rajendran et al., 2022). Dalam perhitungan energi panas yang berguna (Q_u), dapat dihitung nilai $\dot{m} = pvA$ memiliki keterikatan saling berhubungan dengan persamaan $Q_u = \dot{m}C_p(\Delta T)$. Di mana semakin besar nilai laju aliran massa, maka nilai energi yang berguna juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh pengaruh luas bukaan inlet semakin besar, maka semakin besar nilai Q_u . Dalam penelitian ini variasi yang telah diuji, pada bukaan inlet 0,060 m², menghasilkan produktivitas tertinggi, yaitu 1,61 L/m². Oleh karena itu, bukaan 0,060 m² dapat dinyatakan sebagai konfigurasi bukaan inlet terbaik dalam variasi penelitian ini. Perbandingan hasil penelitian ini dengan literatur dilakukan untuk menegaskan posisi kontribusi penelitian terhadap pengembangan *solar still* pasif dan aktif. Penelitian ini menganalisa pengaruh variasi luas bukaan inlet 0,012 m², 0,024 m², 0,036 m², 0,048 m², dan 0,060 m² terhadap efisiensi termal pada sistem STC dan SS+STC. Efisiensi termal menunjukkan kemampuan sistem mengubah energi radiasi matahari menjadi energi panas berguna. Pengaruh variasi luas bukaan inlet terhadap efisiensi termal (η) seiring fungsi waktu pada sistem STC dan SS+STC dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Variasi Luas Bukaan Inlet Terhadap Efisiensi Termal (η).

Tabel 3. Hasil Data Perhitungan Pengaruh Variasi Luas Buka Inlet Terhadap Efisiensi Termal (η).

Presentase Luas Buka Inlet (%)	Buka Inlet (m^2)	Efisiensi Termal (%)
10	0,012	7
20	0,024	14
30	0,036	22
40	0,048	29
50	0,06	36

Berdasarkan Gambar 5, menunjukkan bahwa pengaruh variasi luas buka inlets terhadap efisiensi termal (η) seiring fungsi waktu pada sistem STC, efisiensi termal meningkat secara berurutan seiring bertambahnya buka inlets. Buka inlets 0,012 m^2 menghasilkan efisiensi sebesar 7%. Pada buka inlets 0,024 m^2 menghasilkan efisiensi sebesar 14%, pada buka inlets 0,036 m^2 menghasilkan efisiensi sebesar 22%, pada buka inlets 0,048 m^2 menghasilkan efisiensi sebesar 29%, dan mencapai nilai efisiensi tertinggi 36% pada buka inlets 0,060 m^2 . Hal ini menunjukkan bahwa penelitian ini telah sesuai dengan penelitian (Rajendran et al., 2022) kenaikan ini menunjukkan bahwa semakin besar buka inlets, semakin besar kemampuan udara mengambil panas dari absorber. Pada buka kecil, aliran udara terbatas sehingga terjadi potensi stagnasi dan panas tidak seluruhnya terangkut sebagai energi berguna. Sehingga, pada buka lebih besar, aliran menjadi lebih aktif, dan panas dari absorber lebih efisien dibawa oleh udara keluar dari kolektor.

Berdasarkan variasi penelitian ini, buka inlets 0,060 m^2 menjadi alternatif variasi buka inlets terbaik karena menghasilkan efisiensi tertinggi pada STC maupun SS+STC. Namun, buka tersebut belum dapat disebut sebagai titik optimum absolut. laju aliran massa yang terlalu besar memang dapat meningkatkan penyerapan panas, tetapi juga dapat memperpendek waktu tinggal udara di dalam kolektor. Sehingga, temperatur *outlet* dapat menurun dan panas yang masuk ke *solar still* tidak selalu meningkat secara proporsional. Oleh karena itu, buka inlets 0,060 m^2 dapat dinyatakan sebagai buka inlets terbaik dalam variabel data penelitian ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi luas buka inlets pada *solar thermal collector* berpengaruh langsung terhadap kinerja sistem *solar still* terintegrasi *solar thermal collector*. Buka inlets 0,060 m^2 memberikan performa kinerja terbaik pada sistem karena menghasilkan laju aliran massa sebesar 0.0155 kg/s, laju evaporasi sebesar $4,12 \times 10^{-4}$ kg/s, energi panas yang berguna sebesar 933,04 W, efisiensi termal sebesar 36%, serta produktivitas rata – rata sekitar 0,65 L/ m^2 . Sehingga, luas buka inlets 0,060 m^2 dapat dinyatakan sebagai luas buka inlets terbaik untuk kinerja dan performa sistem *solar still* (SS) terintegrasi *solar thermal collector* (STC). Semakin luas buka inlets, semakin besar laju aliran massa udara yang masuk ke kolektor, sehingga meningkatkan laju evaporasi, energi panas yang berguna, efisiensi termal, dan produktivitas air.

DAFTAR PUSAKA

- A. Neama, M., & Mustafa, A. T. (2020). Thermal behavior of natural convection flow in an inclined solar air heater. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 14(4), 7569–7588. <https://doi.org/10.15282/jmes.14.4.2020.22.0596>
- Alawee, W. H., Mohammed, S. A., Dhahad, H. A., Essa, F. A., Omara, Z. M., & Abdullah, A. S.

- (2021). Performance analysis of a double-slope solar still with elevated basin — comprehensive study. *Desalination and Water Treatment*, 223(September), 13–25. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27125>
- Bangura, A. B. M., Hantoro, R., Fudholi, A., & Uwitije, P. D. (2022). Mathematical Model of the Thermal Performance of Double-Pass Solar Collector for Solar Energy Application in Sierra Leone. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(2), 347–355. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.41349>
- Bhardwaj, R., ten Kortenaar, M. V., & Mudde, R. F. (2013). Influence of condensation surface on solar distillation. *Desalination*, 326, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.07.006>
- BPS. (2024). <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/ODQ1IzI=/persentase-rumah-tangga-menurut-provinsi-dan-sumber-air-minum-layak--persen-.html>
- Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind Emeritus Professor of Mechanical Engineering*. www.wiley.com/go/permissions.
- Chabane, F., Moummi, N., & Benramache, S. (2014). Experimental study of heat transfer and thermal performance with longitudinal fins of solar air heater. *Journal of Advanced Research*, 5(2), 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.03.001>
- Duffie, J. A. ., Beckman, W. A. ., & Blair, Nate. (2020). *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. Wiley.
- Essa, F. A., Abdullah, A. K., Majdi, H. S., Basem, A., Dhahad, H. A., Omara, Z. M., Mohammed, S. A., Alawee, W. H., Ezzi, A. Al, & Yusaf, T. (2022a). Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Number 17). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su141710668>
- Essa, F. A., Abdullah, A. K., Majdi, H. S., Basem, A., Dhahad, H. A., Omara, Z. M., Mohammed, S. A., Alawee, W. H., Ezzi, A. Al, & Yusaf, T. (2022b). Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/su141710668>
- Feria-Díaz, J., López-Méndez, M., Rodríguez-Miranda, J., Sandoval-Herazo, L., & Correa-Mahecha, F. (2021). Commercial Thermal Technologies for Desalination of Water from Renewable Energies: A State of the Art Review. *Processes*, 9(2), 262. <https://doi.org/10.3390/pr9020262>
- Ghazy, A. (2023a). Numerical and experimental investigation of a hybrid solar still-solar air heater. *Desalination and Water Treatment*, 285, 11–19. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29310>
- Ghazy, A. (2023b). Theoretical study of a double-slope solar still with solar air heater condenser. *International Journal of Renewable Energy Development*, 12(6), 977–986. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.53928>
- Hassan, H. (2020). Comparing the performance of passive and active double and single slope solar stills incorporated with parabolic trough collector via energy, exergy and productivity. *Renewable Energy*, 148, 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.050>
- Hassan, H., & Abo-Elfadl, S. (2018). Experimental study on the performance of double pass and two inlet ports solar air heater (SAH) at different configurations of the absorber plate. *Renewable Energy*, 116, 728–740. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.047>
- Marghade, D., Mehta, G., Shelare, S., Jadhav, G., & Nikam, K. C. (2023). Arsenic Contamination in Indian Groundwater: From Origin to Mitigation Approaches for a Sustainable Future. *Water (Switzerland)*, 15(23). <https://doi.org/10.3390/w15234125>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Qiblawey, H. M., & Banat, F. (2008). Solar thermal desalination technologies. *Desalination*, 220(1–3), 633–644. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.059>
- Rajendran, V., Ramasubbu, H., Rajarathinam, J. V., & Pichandi, R. (2022). Experimental study on the thermal performance of a solar air heater integrated with multi-geometry arrangements over the absorber plate. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(25), 38331–38345. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18830-x>
- Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. DeWitt-Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition -John Wiley & Sons, Inc. (2011). (n.d.).

- Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. DeWitt-Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition -John Wiley & Sons, Inc. (2011). (n.d.).*
- Tony, M. A., & Nabwey, H. A. (2024a). Recent advances in solar still technology for solar water desalination. *Applied Water Science*, 14(7), 147. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02188-1>
- Tony, M. A., & Nabwey, H. A. (2024b). Recent advances in solar still technology for solar water desalination. *Applied Water Science*, 14(7). <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02188-1>
- Vimal Dev Naidu. (2024). Performance Evaluation of an Enhanced Solar Still Using Simulink. *Journal of Electrical Systems*, 20(5s), 1204–1216. <https://doi.org/10.52783/jes.2436>
- Xu, H., & Luo, H. (2025). Breakthroughs and Prospects: The Development Path of Solar Thermal Seawater Desalination Technology. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1009321>