

# Pengaruh Penambahan Media Pendingin Nitrogen Pada Dinding untuk Meningkatkan Kinerja Solar Still Double Slope (Energi Dan Eksergi)\*

Dadang Hermawan<sup>1\*</sup>, Nova R. Ismail<sup>1</sup>, Purbo Suwandono<sup>1</sup>, Frida Dwi Anggraeni<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang

<sup>2</sup>Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Widyagama

Email: [dadang@widyagama.ac.id](mailto:dadang@widyagama.ac.id)

## ABSTRAK

Masyarakat di daerah kepulauan dan pesisir pantai sering mengalami kekurangan air, terutama musim kemarau. Pada daerah dimana masyarakat tinggal tersebut terdapat sumber energi dan air laut yang melimpah, terlebih pada musim kemarau. Pada kondisi ini sangat tepat menggunakan solar still untuk mengolah air laut menjadi air tawar menggunakan energi matahari. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan solar still double slope menggunakan pendingin nitrogen pada dinding (SSDS.WCN) dan tanpa pendingin SSDS. Penelitian dilakukan secara eksperimen, teoritis dan kajian eksergi. Solar still menggunakan pelat penyerap sirip berpori, kaca penutup double slope dan pendingin nitrogen pada dinding sebelah utara dan selatan yang di bandingkan dengan tanpa pendingin. Nitrogen pada sisi utara dan selatan menggunakan metode pembilasan (Flushing). Penelitian menghasilkan produktivitas air kondensat menggunakan pendingin nitrogen pada dinding (SSDS.WCN) secara eksperimen rata-rata sebesar 2.28 kg/10jam.m<sup>2</sup> dan teoritis sebesar 2.15 kg/10jam.m<sup>2</sup> lebih tinggi di bandingkan dengan tanpa pendingin (SSDS) secara eksperimen sebesar 1.98 kg/10jam.m<sup>2</sup> dan teoritis sebesar 2.07 kg/10jam.m<sup>2</sup>. Efisiensi solar still menggunakan pendingin nitrogen pada dinding (SSDS.WCN) secara eksperimen rata-rata sebesar 37.05% dan teoritis sebesar 38.87% lebih tinggi di bandingkan dengan tanpa pendingin (SSDS) secara eksperimen sebesar 34.02% dan teoritis sebesar 35.27%. Efisiensi eksergi rata-rata menggunakan SSDS.WCN sebesar 4.78% dibandingkan dengan SSDS sebesar 4.49%. Solar still menggunakan pendingin nitrogen pada dinding dapat meningkatkan produktivitas air kondensat, efisiensnsi solar still dan efisiensnsi eksergi di bandingkan dengan tanpa pendingin.

Kata Kunci: efisiensi eksergi; efisiensi energi; pendingin nitrogen; produktivitas; solar still

Paper type Research paper

## INTRODUCTION

Penduduk di daerah kepulauan dan pesisir pantai sering mengalami kekurangan air bersih, terutama pada musim kemarau [1][2]. Di daerah kepulauan dan pesisir pantai terdapat sumber energi matahari dan air laut yang melimpah. Energi matahari dapat dimanfaatkan untuk proses destilasi air laut menjadi air tawar menggunakan teknologi *solar still* [3].

Berbagai usaha pengembangan pasif *solar still* untuk meningkatkan kinerja pelat penyerap dengan berbagai model dan bentuk diantaranya menghasilkan penyerap sirip dapat meningkatkan produktivitas sebesar 45.5% [4] dan 40% [5]. Menambahkan sirip pada *basin* dapat memperpanjang waktu pemanasan untuk proses penguapan dan dapat meningkatkan produktivitas *solar still* [6]. Ditemukan bahwa, produktifitas pelat bersirip *solar still* (FBLs) meningkat dengan meningkatnya ketinggian sirip; Namun, berkurang dengan meningkatnya ketebalan dan jumlah sirip [7]. Penyerap sirip dapat meningkatkan output destilasi, karena meningkatkan luasan permukaan *basin*. *Solar still* penyerap sirip lebih cepat dan lebih awal memulai produksi dan meningkatkan evaporasi. *Solar still* dengan penyerap sirip dapat mengurangi kehilangan panas bawah dan samping yang menjadi masalah pada *solar still* konvensional [8]. Menggunakan *solar still* konvensional dengan penyerap hitam dan fins silinder batubara menghasilkan produktivitas sebesar 4.16 liter/day, efisiensi thermal sebesar 32.46% dan efisiensi eksergi adalah 1.90% [9].

Usaha untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi *solar still* juga dilakukan dengan menurunkan temperatur kaca penutup dengan berbagai metode, diantaranya menggunakan pendingin air pada kaca penutup *double slope* menghasilkan produktivitas tertinggi sebesar 10.06 l/m<sup>2</sup>.hari [10]. Menggunakan pendingin air dengan mengalirkannya pada kaca penutup *double slope* dan menghasilkan produktivitas air aktual dan teoritis untuk metode ini adalah 4,36 liter dan 7,57 liter. Efisiensi aktual dan teoritis sistem masing-masing 52,32% dan 90,88% [11]. Menggunakan metode penyemprotan air pada kaca penutup *double slope* menghasilkan peningkatan produktivitas 3.32 kali dan efisiensi sebesar 7.3 % di bandingkan tanpa pendingin [12]. *Solar still double slope* menggunakan *solar still* dengan kolektor pelat datar, internal reflektor pada dinding samping, sirip sirkular berongga dan nano-PCM menghasilkan peningkatan efisiensi energi sebesar 25% dan efisiensi eksergi sebesar 111% dibandingkan dengan *solar still* konvensional [13].

Peralatan *solar still* menggunakan model sirip porous media dapat meningkatkan evaporasi [14] [15] dan produktivitas air kondensat [16]. Proses kondensasi pada kaca penutup menyebabkan peningkatan nilai refleksi oleh air kondensat, sehingga intensitas radiasi matahari yang di terima pelat penyerap berkurang. Selain itu temperatur kaca penutup menjadi tinggi dan energi yang terbuang ke lingkungan cukup besar. Dengan demikian di perlukan penurunan temperatur kaca penutup dengan memanfaatkan dinding sebagai permukaan kondensasi. Memanfaatkan dinding sebagai permukaan kondensasi dapat memperluas permukaan kondensasi. Dinding sebagai permukaan kondensasi dengan penambahan pendingin nitrogen di harapkan dapat menurunkan temperatur kaca penutup, dan mengurangi refleksi air kondensat. Selain itu penambahan pendingin nitrogen pada dinding juga dapat mempercepat proses kondensasi.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan menambahkan pendingin nitrogen pada dinding sebelah utara dan selatan. Studi yang dilakukan secara eksperimen akan dibandingkan dengan teoritis. Selain itu juga akan di lakukan perhitungan energi dan eksergi. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan media pendingin nitrogen pada dinding untuk meningkatkan kinerja *solar still double slope*.

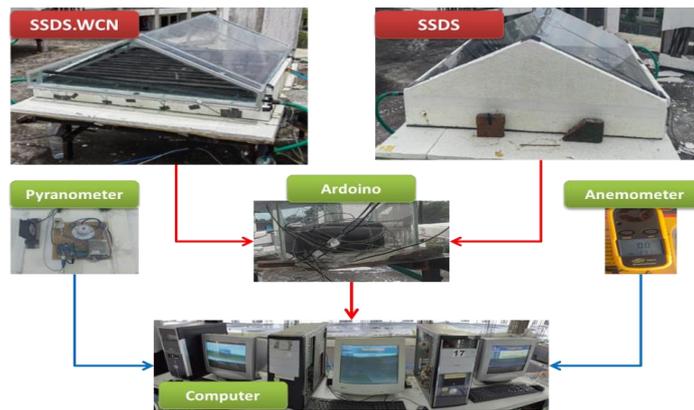
**METODE PENELITIAN**

**2.1. Experimental set up**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang, Jawa Timur, Indonesia. Kondisi geografis kota Malang memiliki Lattitude -7.266667 dan Longitude 112.716667 atau dengan koordinat 7°16' Lintang Selatan dan 112°43' Bujur Timur.

Penyerap sirip menggunakan mortar [17] [14]. Mortar merupakan campuran pasir besi dan semen. Komposisi campuran 2 pasir besi dan 1 semen. Penyerap sirip di cat hitam doff untuk meningkatkan penyerapan radiasi matahari. Cover *solar still* menggunakan kaca tebal 3 mm, dinding dan bagian bawah menggunakan kaca tebal 5 mm. Untuk meminimalkan kehilangan panas dan uap, semua kaca di rekatkan dengan sealant karet silicon.

*Solar still double slope* dengan pendingin nitrogen pada dinding sebelah utara dan selatan yang di bandingkan dengan tanpa pendingin. Nitrogen pada sisi utara dan selatan di masukkan pada ruang pendingin menggunakan metode pembilasan (Flushing). Set up peralatan dapat di lihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Set Up peralatan *solar still*

**2.2. Peralatan ukur**

Berbagai instrumen untuk mengukur parameter yang digunakan adalah termokopel, pyranometer, anemometer, dan gelas ukur. Persentase kesalahan terkait, akurasi, dan rentang instrumen dapat di lihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Peralatan ukur

SI. No.	Instrumen	Accuracy	Range	% Error
1	Thermocouple	± 0.1 °C	-100 – 200 °C	0.25 %
2	Pyranometer	± 1.0 W/m <sup>2</sup>	0 – 1200 W/m <sup>2</sup>	1 %
3	Anemometer	± 0.1 m/s	0 – 25 m/s	5 %
4	Measuring cup	± 1.0 mL	0 – 200 mL	1 %

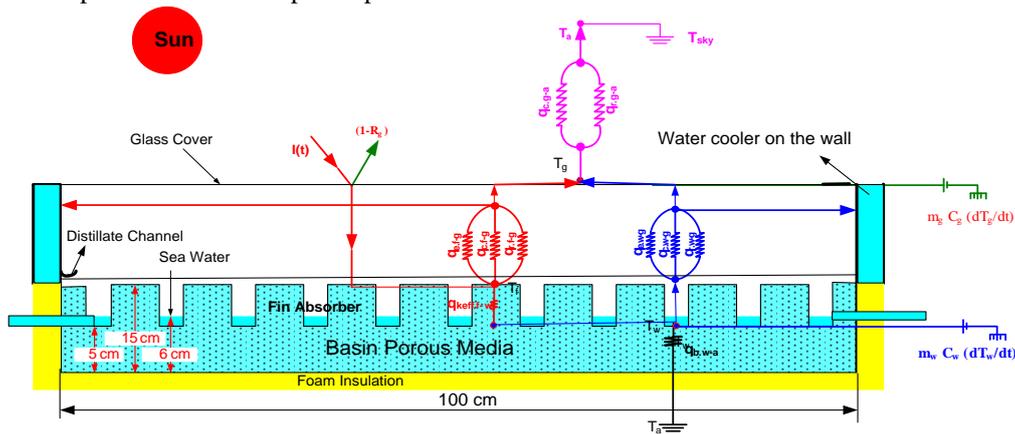
**2.3 Experimental Procedure**

Eksperimen *solar still* dilakukan pada tanggal 15 Desember 2022. Kemiringan kaca penutup *solar still* menghadap timur dan barat untuk memaksimalkan intensitas radiasi matahari. *Solar still* diisi air laut dengan ketinggian 1 cm. Temperatur, intensitas radiasi matahari, kecepatan angin dan output distilat di ukur setiap 60 menit. Pengukuran semua parameter yang di perlukan dilakukan mulai jam 7:00 hingga 17:00.

## 2.4 Mathematical model efisiensi energi

Model matematika untuk keseimbangan panas pada *solar still* [18]. Namun untuk *solar still* penyerap sirip mortar dengan kaca penutup *double slope* di kembangkan dari berbagai peneliti sebelumnya. Untuk penyederhanaan analisis, dapat di asumsikan sebagai berikut:

1. Kapasitas panas dari kaca penutup, penyerap sirip dan bahan isolasi diabaikan.
2. Tidak ada kebocoran uap di *solar still*.
3. Udara dan uap air dianggap sebagai gas yang ideal.
4. Aliran air disederhanakan dalam penyerap sirip.
5. Gradien suhu tidak berubah dengan ketebalan penutup kaca.
6. Sifat fisik berbagai bahan adalah konstan.
7. Tidak terdapat kotoran di kaca penutup.



Gambar 2. Skema Heat Transfer pada *solar still double slope* dengan pendingin nitrogen pada dinding

### 2.4.1 Keseimbangan energi pada kaca Penutup

Keseimbangan panas pada kaca penutup di pengaruhi oleh: penyerapan panas kaca penutup dari intensitas radiasi matahari, panas yang di lepas penyerap sirip (konveksi, radiasi dan evaporasi), panas yang di lepas air basin (konveksi, radiasi dan evaporasi) dan panas yang di lepaskan kaca penutup ke atmosfer (konveksi dan radiasi). Adapun keseimbangan panas pada kaca penutup [19] dan [20], kemudian di kembangkan, menjadi:

$$\alpha_g (1 - R_g) I(t) + q_{t,w-g} + q_{t,f-g} = q_{t,g-a} \quad (1)$$

Dimana:

$$q_{t,w-g} = q_{c,w-g} + q_{e,w-g} + q_{r,w-g} \quad (2)$$

$$q_{t,f-g} = q_{c,f-g} + q_{e,f-g} + q_{r,f-g} \quad (3)$$

$$q_{t,g-a} = q_{c,g-a} + q_{r,g-a} \quad (4)$$

### 2.4.2 Keseimbangan panas pada penyerap sirip

Keseimbangan panas pada penyerap sirip di pengaruhi oleh penyerapan panas sirip dari intensitas radiasi matahari yang di transmisikan kaca penutup, panas yang di lepaskan oleh penyerap sirip ke kaca penutup (konveksi, radiasi dan evaporasi), panas konduksi efektif yang di transfer ke air basin dan kehilangan panas ke samping. Persamaan [19] dikembangkan menjadi:

$$(1 - \alpha_g)(1 - R_g)(1 - R_f) \alpha_f I(t) = q_{t,f-g} + q_{c,eff} + q_{sa} \quad (5)$$

### 2.4.3 Keseimbangan panas pada air basin

Keseimbangan panas pada air basin di pengaruhi oleh; panas konduksi efektif, panas yang di lepaskan oleh air basin ke kaca penutup (konveksi, radiasi dan evaporasi) dan penyimpanan panas pada air basin. Adapun persamaan sebagai berikut:

$$q_{c,eff} = q_{t,w-g} + q_{ba} + m_w c_w (dT_w/dt) \quad (6)$$

### 2.4.4 Internal and eksternal heat transfer

Keseimbangan panas pada penyerap kaca penutup di pengaruhi oleh penyerapan panas kaca dari intensitas radiasi matahari, panas total dari penyerap sirip ke kaca penutup (konveksi, radiasi dan evaporasi), panas total dari water basin ke kaca penutup (konveksi, radiasi dan evaporasi). Persamaan [19] dikembangkan menjadi:

$$\alpha_g I(t) + q_{t,f-g} + q_{t,w-g} = q_{t,g-a} \quad (7)$$

### 2.4.5 Produktivitas output distilasi dan Efisiensi

Proses evaporasi terjadi pada air basin dan penyerap sirip. Produktifitas air distilasi di ukur setiap 60 menit.

**(a) Produktifitas air distilasi pada air basin.**

Dari teori yang di tuliskan [21], persamaan menjadi:

$$M_w = (q_{ew-g} \times 3600) / (L_{ev}) \quad (8)$$

Evaporation latent heat menggunakan persamaan [22],

$$L_{ev} = (2501.67 - 2.389 T_w) \times 10^3 \text{ (J/kg)} \quad (9)$$

Maka, produktifitas air kondensat dari air basin, menjadi:

$$M'_w = \sum_{i=1}^{10} M_w \quad (10)$$

**(b) Produktifitas air kondensat pada penyerap sirip.**

$$M_f = (q_{ef-g} \times 3600) / (L_{ev}) \quad (11)$$

$$L_{ev} = (2501.67 - 2.389 T_f) \times 10^3 \text{ (J/kg)} \quad (12)$$

$$M'_f = \sum_{i=1}^{10} M_f \quad (13)$$

**(c) Total produktifitas distilasi**

Total produktifitas setiap 60 menit, menjadi:

$$M_{fw}(t) = M_f + M_w \quad (14)$$

Total produktifitas selama waktu pengujian 10 jam, menjadi:

$$M'_{fw} = \sum_{i=1}^{10} M_f + \sum_{i=1}^{10} M_w \quad (15)$$

**(d) Efisiensi energi solar still**

Nilai efisiensi setiap 60 menit, [23]menjadi:

$$\eta(t) = \frac{M_{fw}(t) \times L_{ev}}{A_b \times \sum I(t) \times \Delta t} \quad (16)$$

Nilai efisiensi selama waktu pengujian 10 jam, menjadi:

$$\eta = \frac{M'_{fw} \times L_{ev}}{A_b \times \sum I(t) \times \Delta t} \quad (17)$$

**2.4.6 Mathematical model efisiensi eksergi**

Perhitungan efisiensi eksergi yang dirumuskan oleh [24], sebagai;

$$\eta_{ex} = \frac{\text{Exergy output}}{\text{Exergy input}} \quad (18)$$

Insolasi yang jatuh pada fins mencapai eksergi dan dapat dihitung dengan mengalikan insolasi,  $I_T$  dengan fungsi Petela,  $\psi$  [25],

$$\psi = \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_a}{T_s} \right) \right] \quad (19)$$

$$Ex_{sun} = A_g I \psi \quad (20)$$

Fungsi Petela  $\psi$ , menyatakan, potensi relatif radiasi matahari untuk menghasilkan kerja yang bermanfaat, sebagai fungsi suhu matahari ( $T_s$ ) dan suhu referensi lingkungan ( $T_a$ ). Dalam batas  $\left( \frac{T_a}{T_s} \rightarrow 0 \right)$ , fluks radiasi menjadi 100% tersedia untuk pembangkitan eksergi, sehingga dapat disebut sebagai 'efisiensi eksergi surya.' Bejan, [26] menjelaskan interaksi potensial eksergi panas ( $Ex_q$ ) dengan hukum kekekalan energi dan non- konservasi eksergi sebagai [27];

$$Ex_q = q \left( 1 - \frac{T_a}{T} \right) \quad (21)$$

di mana T adalah suhu sistem dan  $\left( 1 - \frac{T_a}{T} \right)$  adalah factor efisiensi Carnot. Keseimbangan eksergi dapat dinyatakan sebagai;

**(a) Keseimbangan eksergi pada kaca**

Mempertimbangkan kapasitas panas dan radiasi matahari yang diserap ke dalam neraca eksergi kaca. Dari Layek [25] di kembangkan menjadi;

$$x_g A_g I \psi + Ex_{t,w-g} + Ex_{t,f-g} - Ex_{t,g-a} = Ex_{desg} \quad (22)$$

$E_{X_{des,g}}$  adalah penghancuran exergi dari kaca.  $E_{xt,g-a}$  adalah kehilangan eksergi dari kaca ke lingkungan yang terkait dengan kehilangan panas konveksi dan radiasi, dapat dinyatakan sebagai,

$$E_{x_{t,g-a}} = E_{x_{c,g-a}} + E_{x_{r,g-a}} \quad (23)$$

$E_{xt,w-g}$  adalah eksergi yang ditransfer dari permukaan air laut ke permukaan bagian dalam kaca akibat proses penguapan, konveksi dan radiasi dan dapat ditulis sebagai;

$$E_{x_{t,w-g}} = E_{x_{e,w-g}} + E_{x_{c,w-g}} + E_{x_{r,w-g}} \quad (24)$$

$E_{xt,f-g}$  adalah eksergi yang ditransfer dari permukaan fins ke permukaan bagian dalam kaca akibat proses penguapan, konveksi dan radiasi dan dapat ditulis sebagai;

$$E_{x_{t,f-g}} = E_{x_{e,f-g}} + E_{x_{c,f-g}} + E_{x_{r,f-g}} + E_{x_{c,eff,f-w}} \quad (25)$$

**(b) Keseimbangan eksergi pada fins**

Sebagian besar eksergi yang tersedia diserap fins  $\{(\tau_g \alpha_g A_f) E_{x_{sun}}\}$ , sebagian besar untuk proses perpindahan panas evaporasi, konveksi dan radiasi ke kaca penutup, sebagian di transfer secara konduksi efektif  $E_{x_{c,eff,f-w}}$  dari fins ke air laut dan sebagian kecil dari eksergi meninggalkan sistem melalui insulasi ( $E_{xi}$ ) ke atmosfer dan sisanya dirusak dari cekungan ( $E_{X_{des,f}}$ ). Dari Layek [25] di kembangkan menjadi;

$$E_{x_{des,f}} = (\tau_g \alpha_g A_f) E_{x_{sun}} - (E_{x_{t,f-g}} + E_{x_{c,eff,f-w}} + E_{xi}) \quad (26)$$

**(c) Keseimbangan eksergi pada air laut**

Perolehan eksergi oleh air laut adalah penjumlahan dari eksergi yang ditransmisikan dari fins ke air laut. Sebagian dari eksergi ini ditransmisikan dari permukaan air ke kaca melalui proses perpindahan panas konvektif, radiasi dan evaporasi, sisanya dihancurkan. Dari Layek [25] di kembangkan menjadi;

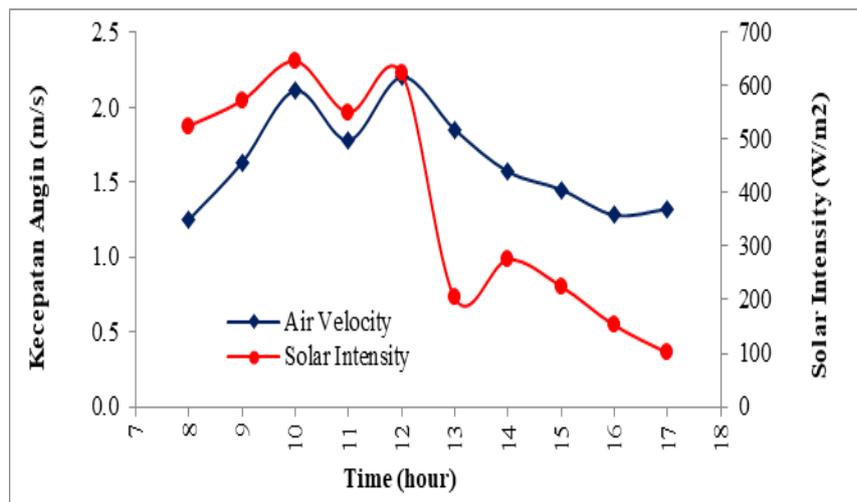
$$E_{x_{des,w}} = E_{x_{c,eff,f-w}} - E_{x_{t,w-g}} \quad (27)$$

Eksergi yang terkait dengan hasil penyulingan matahari dipindahkan dari fins dan air laut ke kaca melalui penguapan, yaitu  $E_{xe,f-g}$  dan  $E_{xe,w-g}$ . Oleh karena itu, persamaan efisiensi eksergi dari [28], di kembangkan menjadi;

$$\eta_{nex} = \frac{E_{xe,w-g} + E_{xe,f-g}}{E_{x_{sun}}} \quad (28)$$

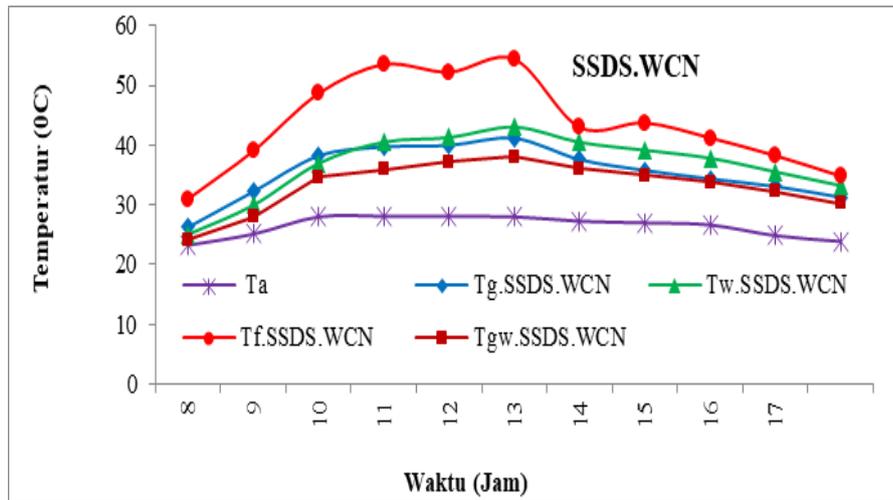
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian *solar still double slope* menggunakan pendinginan nitrogen pada dinding sebelah utara dan selatan (SSDS.WCN) yang di bandingkan dengan tanpa pendingin (SSDS). Perbandingan ini akan di lihat dari hasil eksperimen dan teoritis, selain itu juga dari nilai ekserginya.

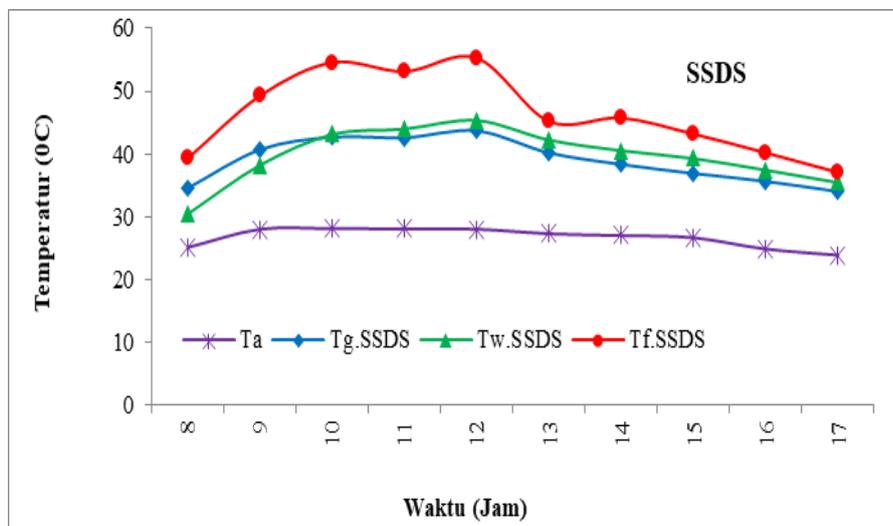


**Gambar 3.** Kecepatan angin dan Intensitas matahari

Intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin di ukur dan di sajikan pada gambar 3. Temperatur hasil pengujian di sajikan pada gambar 4 dan 5. Temperatur rata-rata menggunakan SSDS.WCN lebih rendah dibandingkan dengan SSDS. Temperatur kaca penutup SSDS.WCN lebih rendah di bandingkan temperatur SSDS, kondisi ini mengindikasikan keberhasilan pada penelitian ini yang mempunyai tujuan diantaranya untuk menurunkan temperatur kaca penutup. Penurunan kaca penutup dapat meningkatkan laju evaporasi dan kondensasi, hal ini dapat di lihat pada produktivitas air yang di hasilkan.

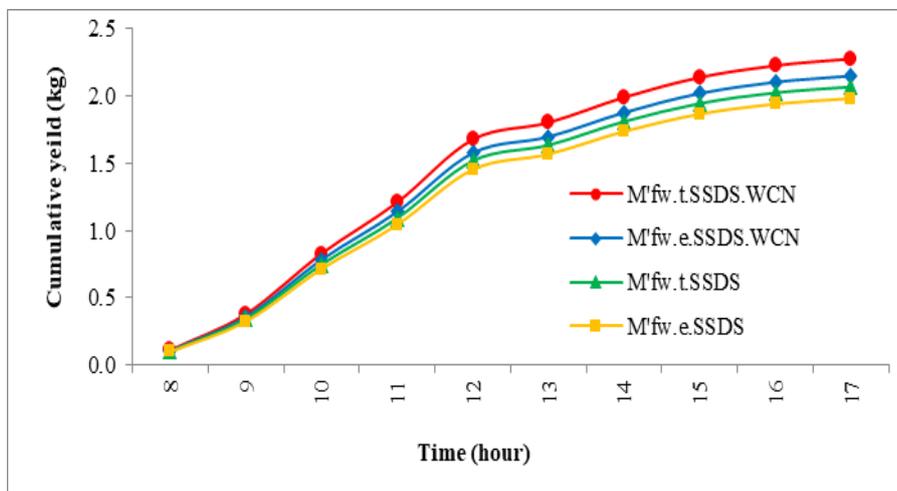


Gambar 4. Temperatur pada peralatan *solar still double slope* dengan pendingin nitrogen pada dinding (SSDS,WCN)



Gambar 5. Temperatur pada peralatan *solar still double slope* (SSDS)

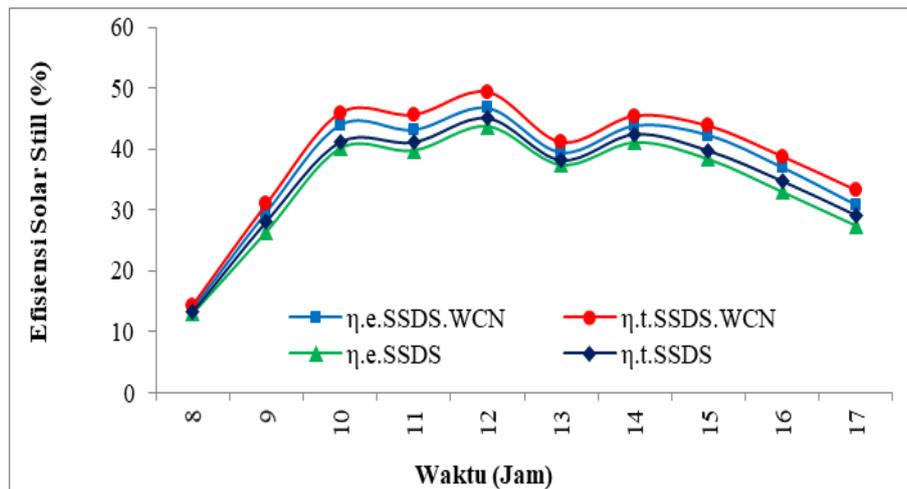
Pada gambar 6 terlihat produktivitas air secara eksperimen dan teoritis menggunakan SSDS.WCN lebih tinggi di bandingkan dengan SSDS. Perbedaan produktivitas antara teoritis dan eksperimen tidak signifikan. Perbedaan produktivitas pada kedua peralatan lebih terlihat pada saat nilai intensitas radiasi matahari tinggi. Dengan demikian menggunakan media pendingin nitrogen pada dinding dapat menurunkan temperatur kaca penutup dan meningkatkan produktivitas air. Produktivitas air tertinggi menggunakan SSDS.WCN secara teoritis sebesar 2.28 kg/10jam.m<sup>2</sup> dan eksperimen sebesar 2.15 kg/10jam.m<sup>2</sup>, sedangkan produktivitas tertinggi menggunakan SSDS secara teoritis sebesar 2.07 kg/10jam.m<sup>2</sup> dan eksperimen sebesar 1.98 kg/10jam.m<sup>2</sup>.



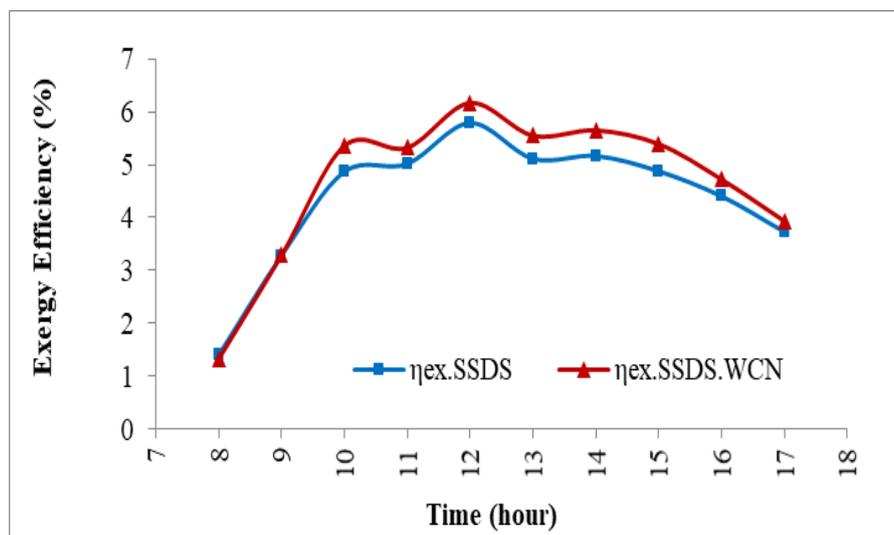
Gambar 6. Cumulative yield SSDS.WCN dan SSDS eksperiment dan teoritis

Pada gambar 7 di sajian efisiensi energi secara teoritis dan eksperimen. Perbedaan nilai efisiensi energi secara teoritis dan eksperimen tidak signifikan baik pada SSDS.WCN dan SSDS. Energi efisiensi tertinggi menggunakan SSDS.WCN di dibandingkan dengan SSDS. Kondisi ini disebabkan oleh perbedaan temperatur fins ke glass dan temperatur water ke glass. Semakin tinggi perbedaan temperatur fins ke glass dan temperatur water ke glass dapat meningkatkan laju evaporasi. Laju evaporasi yang tinggi dapat meningkatkan produktivitas air kondensat. Produktivitas air kondensat yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi energi.

Pada siang hingga sore hari efisiensi energi masih tinggi kondisi ini disebabkan oleh sifat material pelat penyerap sirip dan air yang masih menyimpan energi. Efisiensi tertinggi menggunakan SSDS.WCN secara teoritis sebesar 49.35% dan secara eksperimen sebesar 46.72%, sedangkan efisiensi tertinggi menggunakan SSDS secara teoritis sebesar 45.05% dan secara eksperimen sebesar 43.73%. Efisiensi rata-rata menggunakan SSDS.WCN teoritis sebesar 38.87% dan secara eksperimen sebesar 37.05%, sedangkan efisiensi rata-rata menggunakan SSDS secara teoritis sebesar 35.27% dan secara eksperimen sebesar 34.02%.



Gambar 7. Efisiensi solar still SSDS.WCN dan SSDS eksperiment dan teoritis



Gambar 8. Efisiensi eksergi SSDS.WCN dan SSDS

Gambar 8, efisiensi eksergi meningkat seiring dengan peningkatan intensitas radiasi matahari. Efisiensi eksergi tertinggi menggunakan SSDS.WCN sebesar 6.17% dibandingkan dengan SSDS sebesar 5.79%. Efisiensi eksergi rata-rata harian menggunakan SSDS.WCN sebesar 4.78% dan menggunakan SSDS sebesar 4.49%. Efisiensi eksergi pada SSDS.WCN lebih tinggi di dibandingkan SSDS, kondisi ini disebabkan oleh penurunan temperatur kaca penutup yang lebih rendah akibat pendingin nitrogen pada dinding. Temperatur kaca penutup yang rendah dapat meningkatkan nilai perbedaan temperatur antara pelat penyerap sirip ke kaca penutup dan air pada basin ke kaca penutup. Peningkatan nilai perbedaan temperatur pelat penyerap sirip ke kaca penutup dan air pada basin ke kaca penutup dapat meningkatkan eksergi penguapan. Peningkatan eksergi penguapan dapat meningkatkan efisiensi eksergi dan menurunkan destruksi eksergi.

## KESIMPULAN

Penelitian *solar still* menggunakan pelat penyerap sirip, kaca penutup *double slope* dan pendingin nitrogen pada dinding yang di bandingkan dengan tanpa pendingin menghasilkan:

- a) Produktivitas air kondensat menggunakan pendingin nitrogen pada dinding (SSDS.WCN) secara eksperimen sebesar 2.28 kg/10jam.m<sup>2</sup> dan teoritis sebesar 2.15 kg/10jam.m<sup>2</sup> lebih tinggi di bandingkan dengan tanpa pendingin (SSDS) secara eksperimen sebesar 1.98 kg/10jam.m<sup>2</sup> dan teoritis sebesar 2.07 kg/10jam.m<sup>2</sup>.
- b) Efisiensi *solar still* menggunakan pendingin nitrogen pada dinding (SSDS.WCN) secara eksperimen rata-rata sebesar 37.05% dan teoritis sebesar 38.87% lebih tinggi di bandingkan dengan tanpa pendingin (SSDS) secara eksperimen sebesar 34.02% dan teoritis sebesar 35.27%.
- c) Efisiensi eksergi rata-rata menggunakan SSDS.WCN sebesar 4.78% dibandingkan dengan SSDS sebesar 4.49%.
- d) *Solar still* menggunakan pendingin nitrogen pada dinding dapat meningkatkan produktivitas air kondensat, efisiesnsi *solar still* dan efisiesnsi eksergi di bandingkan dengan tanpa pendingin.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami selaku Tim Peneliti mengucapkan terimakasih kepada BRIN dan LPDP yang telah membiayai kegiatan penelitian dengan kontrak Nomor : 53/IV/KS/06/2022 dan Nomor : 009/Kontrak-KS/PTS.030.7/PN/VI/2022.

## REFERENCES

- [1] K. Schwerdtner Máñez, S. Husain, S. C. A. Ferse, and M. Máñez Costa, "Water scarcity in the Spermonde Archipelago, Sulawesi, Indonesia: Past, present and future," *Environ. Sci. Policy*, vol. 23, pp. 74–84, 2012.
- [2] A. Boretti and L. Rosa, "Reassessing the projections of the World Water Development Report," *npj Clean Water*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [3] S. S. S. Al-Mezeini *et al.*, "Design and Experimental Studies on a Single Slope Solar Still for Water Desalination," *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 4, pp. 1–13, 2023.
- [4] V. Velmurugan, M. Gopalakrishnan, R. Raghu, and K. Srithar, "Single basin solar still with fin for enhancing productivity," *Energy Convers. Manag.*, vol. 49, no. 10, pp. 2602–2608, 2008.
- [5] Z. M. Omara, M. H. Hamed, and A. E. Kabeel, "Performance of finned and corrugated absorbers solar stills under Egyptian conditions," *Desalination*, vol. 277, no. 1–3, pp. 281–287, 2011.
- [6] A. RPN, P. Namprakai, and W. Ampun, "The thermal performance of an ethanol solar still with fin plate to increase productivity," *Renew. Energy*, vol. 54, pp. 227–234, 2013.
- [7] A. A. El-Sebaei, M. R. I. Ramadan, S. Aboul-Enein, and M. El-Naggar, "Effect of fin configuration parameters on single basin solar still performance," *Desalination*, vol. 365, pp. 15–24, 2015.
- [8] H. Panchal and I. Mohan, "Various methods applied to solar still for enhancement of distillate output," *Desalination*, vol. 415, no. March, pp. 76–89, 2017.
- [9] S. Vembu, M. E. H. Attia, M. Thangamuthu, and G. Thangamuthu, "Energy, exergy, and economic analysis of solar still using coal cylinder fins: an experimental study," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 30, no. 2, pp. 2597–2606, 2023.
- [10] M. M. Morad, H. A. M. El-Maghawry, and K. I. Wasfy, "Improving the *double slope* solar still performance by using flat-plate solar collector and cooling glass cover," *Desalination*, vol. 373, pp. 1–9, 2015.
- [11] H. Ambarita, William, and J. P. Nababan, "Effect of cooling water on the glass cover of the *double slope* solar still," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1542, no. 1, 2020.
- [12] M. S. Manjunath *et al.*, "Experimental study of the influence of glass cover cooling using evaporative cooling process on the thermal performance of single basin solar still," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 1, pp. 6334–6343, 2020.
- [13] S. S. Tuly, M. S. Islam, R. Hassan, B. K. Das, and M. R. I. Sarker, "Investigation of a modified *double slope* solar still integrated with nanoparticle-mixed phase change materials: Energy, exergy, exergo-economic, environmental, and sustainability analyses," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 37, no. May, p. 102256, 2022.
- [14] N. R. Ismail, S. Soeparman, D. Widhiyanuriyawan, and W. Wijayanti, "The influence of pores size and type of aggregate on capillary heat and mass transfer in porous," *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 17, no. 1, pp. 8–17, 2019.
- [15] N. R. Ismail, S. Soeparman, D. Widhiyanuriyawan, and W. Wijayanti, "The effect of water salinity and radiation intensity to the temperature distribution and evaporation rate inside porous media," *Teh. Vjesn.*, vol. 28, no. 2, pp. 379–384, 2021.
- [16] W. Ismail N.R., Soeparman, S., Widhiyanuriyawan, D., Wijayanti, "Studi pelat penyerap model sirip menggunakan material porous media untuk meningkatkan kinerja solar still," Universitas Brawijaya, Malang, 2021.
- [17] N. R. Ismail, S. Soeparman, D. Widhiyanuriyawan, and W. Wijayanti, "The Influence of Pores Size and Type of Aggregate on Liquid Mass Transfer in Porous Media," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 13, no. 17, pp. 7171–7178, 2018.
- [18] A. Agrawal, R. S. Rana, and P. K. Srivastava, "Heat transfer coefficients and productivity of a single slope single basin solar still in Indian climatic condition: Experimental and theoretical comparison," *Resour. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 466–482, 2017.

- [19] A. Agrawal and R. S. Rana, "Theoretical and experimental performance evaluation of single-slope single-basin solar still with multiple V-shaped floating wicks," *Heliyon*, vol. 5, no. 4, p. e01525, 2019.
- [20] S. Kumar, G. N. Tiwari, and H. N. Singh, "Annual performance of an active solar distillation system," *Desalination*, vol. 127, no. 1, pp. 79–88, 2000.
- [21] M. K. Gaur and G. N. Tiwari, "Optimization of number of collectors for integrated PV/T hybrid active solar still," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 1763–1772, 2010.
- [22] H. E. S. Fath and H. M. Hosny, "Thermal performance of a single-sloped basin still with an inherent built-in additional condenser," *Desalination*, vol. 142, no. 1, pp. 19–27, 2002.
- [23] A. E. Kabeel, M. Abdelgaied, and A. Eisa, "Enhancing the performance of single basin solar still using high thermal conductivity sensible storage materials," *J. Clean. Prod.*, vol. 183, pp. 20–25, 2018.
- [24] H. Hassan, M. S. Yousef, M. S. Ahmed, and M. Fathy, "Energy, exergy, environmental, and economic analysis of natural and forced cooling of solar still with porous media," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 30, pp. 38221–38240, 2020.
- [25] A. Layek, "Exergetic analysis of basin type solar still," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 21, no. 1, pp. 99–106, 2018.
- [26] A. Bejan, *Advanced Engineering Thermodynamics*. New Jersey: Hoboken-Wiley, 2006.
- [27] K. R. Ranjan, S. C. Kaushik, and N. L. Panwar, "Energy and exergy analysis of passive solar distillation systems," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 211–221, 2016.
- [28] A. R. Abd Elbar and H. Hassan, "Energy, exergy and environmental assessment of solar still with solar panel enhanced by porous material and saline water preheating," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 124175, 2020.

### Nomenclatures

$A$	: Area ( $m^2$ )
$C$	: Specific heat ( $J/kg\ ^\circ C$ )
$dx$	: Distance of fin surface to water ( $m$ )
$dT$	: Difference temperature ( $^\circ C$ )
$Ex$	: Eksergi
$h$	: Coefficient ( $W/m^2\ ^\circ C$ )
$I$	: Solar Intensity ( $W/m^2$ )
$t$	: Time interval ( $s$ )
$K$	: Thermal conductivity ( $W/m\ ^\circ C$ )
$L$	: Latent heat ( $J/kg$ )
$Li$	: Thickness of insulation ( $m$ )
$m$	: Mass of water in basin ( $Kg$ )
$M$	: Distillate output ( $Kg/m^2/s$ )
$M'$	: Distillate output ( $Kg/m^2/(h)$ )
$P$	: Partial saturated vapor pressures ( $N/m^2$ )
$q$	: Heat transfer ( $W/m^2$ )
$R$	: Reflectivity
$T$	: Temperature ( $^\circ C$ )
$U$	: Overall heat transfer coefficient ( $W/m^2\ ^\circ C$ )
$V$	: Velocity of Wind ( $m/s$ )

### Greek symbols

$\alpha$	: Absorptivity
$\varepsilon$	: Emissivity
$\varepsilon$	: Porosity of fin
$\sigma$	: Stefan–Boltzmann constant
$\tau$	: Transmissivity
$\eta$	: Efficiency of solar still
$\psi$	: Petela Funtion

### Subscripts

$a$	: Ambient
$b$	: Basin liner
$b-a$	: Basin to ambient
$c$	: Convective
$des$	: Destructed

*e* : *Evaporative*  
*e* : *exsperiment*  
*eff* : *Efective*  
*ex* : *Eksergi*  
*ev* : *Vaporization of water*  
*f* : *Fins absorber*  
*f-g* : *Fins to glass cover*  
*g* : *Glass cover*  
*g-a* : *Glass cover to ambient*  
*i* : *Insulation*  
*r* : *Radiative*  
*s* : *Surface*  
*sa* : *Side to ambient*  
*Sky* : *Sky*  
*t* : *Total*  
*t* : *Theoritis*  
*w* : *Water*  
*w-g* : *Water to glass cover*