

# Studi Eksperimental *Solar Distillation* Dengan Penambahan Spons

## *Experimental Study Of Solar Distillation With The Addition Sponge*

Nadira Aqeela Putri  
Prodi S1 Teknik Fisika  
Fakultas Teknik Elektr  
Universitas Telkom  
nadiiaptr@student.telkomunive  
rsity.ac.id

Tri Ayodha Ajiwigun  
Prodi S1 Teknik Fisika  
Fakultas Teknik Elektr  
Universitas Telkom  
triayodha@telkomuniversity.ac  
.id

Nurwulan Fitriyanti  
Prodi S1 Teknik Fisika  
Fakultas Teknik Elektr  
Universitas Telkom  
nurwulanf@telkomuniversity.a  
c.id

### Abstrak

Ketersediaan air bersih masih menjadi permasalahan, khususnya di wilayah pesisir yang memiliki sumber air laut melimpah namun tidak dapat langsung dimanfaatkan karena kadar garam yang tinggi. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah teknologi *solar distillation* yang memanfaatkan energi matahari untuk memisahkan air dari garam melalui proses penguapan dan kondensasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan spons sebagai media penyerap dengan variasi ketebalan 1 cm, 2 cm, dan 3 cm terhadap kinerja sistem solar distillation. Penelitian ini dibatasi pada analisis pengaruh variasi ketebalan spons terhadap volume air hasil distilasi dan salinitas air yang dihasilkan. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian eksperimental dengan mengamati parameter intensitas radiasi matahari, suhu operasional, volume air hasil distilasi, dan salinitas air hasil distilasi. Sistem diuji menggunakan empat konfigurasi, yaitu tanpa spons, spons 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan spons dapat meningkatkan laju evaporasi air akibat bertambahnya luas antarmuka antara air dan udara. Spons dengan ketebalan 1 cm menghasilkan volume distilasi tertinggi, nilai salinitas terendah dan nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) terendah yang menunjukkan penggunaan energi dengan baik, sedangkan ketebalan spons 3 cm menurunkan performa akibat hambatan

perpindahan panas. Dari segi kualitas, seluruh variasi sistem mampu menurunkan salinitas air laut.

Kata kunci : solar distillation, air bersih, energi matahari, spons, laju evaporasi.

### Abstract

Access to clean water remains a critical challenge, particularly in coastal regions where seawater is abundant but unusable due to high salinity. One viable solution is solar distillation technology, which utilizes solar energy to separate water from salt through evaporation and condensation. This study aims to analyze the effect of adding sponges as absorbent media with thickness variations of 1 cm, 2 cm, and 3 cm on the performance of a solar distillation system. The scope of this research is limited to evaluating how these thickness variations influence distillate yield and the salinity of the produced water. The research was conducted through experimental testing, monitoring parameters such as solar radiation intensity, operating temperatures, distillate volume, and salinity levels. The system was tested across four configurations: without sponges, and with sponges of 1 cm, 2 cm, and 3 cm thickness. Results indicate that the addition of sponges enhances the evaporation rate by increasing the air-water interface area. The 1 cm sponge thickness achieved the highest distillate volume, the lowest salinity, and the lowest Specific Energy Consumption (SEC), indicating optimal energy efficiency. Conversely, the 3 cm sponge thickness led to a decline in performance

due to heat transfer resistance. In terms of quality, all system variations successfully reduced seawater salinity

**Keywords:** solar distillation, clean water, solar energy, sponge, evaporation rate

## 1. Pendahuluan

Wilayah perairan khususnya wilayah pesisir di Indonesia masih terdapat ketimpangan dalam ketersediaan air bersih dan air yang layak untuk digunakan, biasanya air yang tersedia adalah air laut [1]. Keterbatasan akses terhadap teknologi pengolahan air bersih yang sederhana dan ramah lingkungan mendorong perlunya teknologi pengolahan air. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah *solar distillation*, yang memanfaatkan energy matahari untuk memisahkan air dari garam melalui proses penguapan dan kondensasi [1].

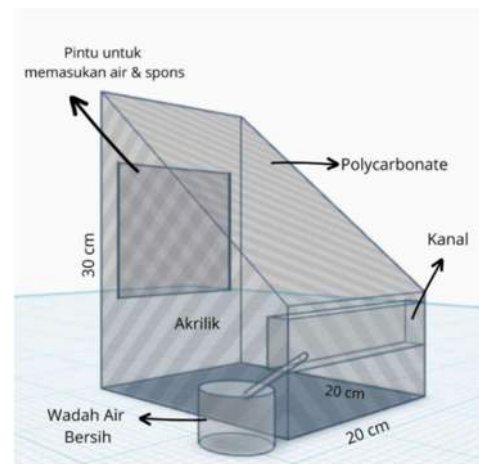
Kinerja sistem *solar distillation* dipengaruhi oleh beberapa factor, yaitu intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan dan luas permukaan. Sistem *solar distillation* dapat dimodifikasi dengan penambahan media penyerap berupa spons. Spons berfungsi sebagai media penyerap yang mampu menahan air dan memperluas luas permukaan evaporasi, sehingga berpotensi meningkatkan laju penguapan pada sistem solar distillation.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan spons dengan variasi ketebalan 1 cm, 2 cm, dan 3 cm terhadap kinerja sistem *solar distillation*. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi volume air hasil distilasi, salinitas air distilat, serta *Specific Energy Consumption* (SEC). Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membandingkan sistem tanpa spons dan sistem dengan variasi ketebalan spons gua memperoleh konfigurasi yang menghasilkan performa optimal.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Desain Alat

Desain alat dirancang dengan memperhatikan pemilihan bahan dan komponen seperti kotak penguap, kaca penutup, dan kanal kondensasi yang disesuaikan agar mendukung proses distilasi secara optimal. Gambar berikut menunjukkan rancangan sistem *solar distillation* yang digunakan:



GAMBAR 1  
Desain Alat

Pada desain alat bagian penutup menggunakan kaca karena dapat meneruskan cahaya matahari dan tahan panas, lalu digunakan kemiringan polycarbonate 45° karena sudut ini menunjukkan efisiensi sistem distilasi yang lebih tinggi serta mampu meningkatkan volume air hasil destilasi. Selain itu, sudut 45° membantu air bersih mengalir lebih cepat ke penampung, juga mempercepat proses penguapan dan pengembunan [1].

### 2.2 Metode Pengukuran

Larutan air garam dengan konsentrasi 35.000 ppm digunakan sebagai bahan baku, yang merepresentasikan kondisi rata-rata air laut. Sebanyak ±350 mL larutan dimasukkan ke dalam empat kotak penguap dengan variasi perlakuan, yaitu tanpa spons dan dengan spons poliuretan berketebalan 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Spons dalam kondisi kering ditimbang untuk memperoleh massa awal, kemudian ditempatkan secara merata di dalam kotak penguap hingga menyerap air garam, dan selanjutnya ditimbang kembali untuk menentukan karakteristik penyerapan air.

Proses distilasi dilakukan secara eksperimental mulai pukul 09.00 WIB hingga tidak dihasilkan lagi air distilat. Selama pengujian, intensitas radiasi matahari dan suhu operasional dipantau menggunakan alat ukur yang sesuai. Setelah proses selesai, volume air hasil distilasi diukur menggunakan gelas ukur, sedangkan salinitas air distilat dianalisis menggunakan TDS meter. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk membandingkan kinerja sistem pada kondisi tanpa spons dan dengan variasi ketebalan spons.

### 2.3 Pengolahan Data

Salah satu analisis utama untuk mengetahui performansi alat *solar distillation* adalah perhitungan *Specific Energy Consumption* (SEC) yang dihitung dalam satuan kWh/m<sup>3</sup>, untuk mengetahui jumlah energi radiasi matahari yang dibutuhkan dalam menghasilkan satuan volume air bersih. Nilai SEC diperoleh dengan membandingkan

total energi yang masuk ke sistem terhadap volume air hasil distilasi.

$$SEC = \frac{E}{V} \quad (1)$$

$$SEC = \frac{\Sigma I \times A}{V} \quad (2)$$

Dengan:

E = Total energi matahari (J)

I = Solar Energi ( $J/m^2$ )

A = Luas permukaan kaca ( $m^2$ )

V = Volume air hasil distilasi ( $m^3$ )

Untuk mendukung analisis sistem, karakteristik penyerapan pada spons juga diamati, untuk mengetahui kualitas spons yang digunakan. Karakteristik yang diamati meliputi:

- Porositas: perbandingan antara volume ruang kosong (pori) dengan volume total suatu benda dalam bentuk presentase [2].

Porositas =

$$\frac{W_0 - W}{\rho \times V} \quad (3)$$

Dengan:

W = Massa spons dalam kondisi kering (kg)

W<sub>0</sub> = Massa spons setelah terendam air (kg)

ρ = Massa jenis air garam ( $1025 \text{ kg/m}^3$ )

V = Volume total spons ( $m^3$ )

Spons direndam dalam air garam, sehingga menggunakan massa jenis air garam dalam perhitungan, karena fluida yang mengisi volume rongga spons adalah air garam.

Volume air hasil distilasi diukur menggunakan gelas ukur. Data volume air yang dihasilkan dicatat untuk setiap perlakuan, dan diolah dengan menghitung nilai rata-rata untuk membandingkan kondisi tanpa spons dan dengan variasi ketebalan spons.

Salinitas air hasil distilasi diukur menggunakan TDS meter dan dinyatakan dalam satuan ppm. Data diolah dengan menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi untuk melihat kecenderungan kualitas air hasil distilasi.

### 3. Pembahasan

Pengujian distilasi dilakukan selama tiga hari berturut-turut pada pukul 09.00–16.00 WIB. Data intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, volume air hasil distilasi dicatat untuk dilakukan pengolahan data. Sebanyak empat konfigurasi diuji, yaitu tanpa spons, spons 1 cm, 2 cm, dan 3 cm.

#### 3.1. Pengaruh Volume Air Terhadap Kinerja Sistem Solar Distillation

Volume air divariasikan dengan dua kondisi, yaitu kondisi spons terendam dengan volume air 350 ml dan kondisi spons tenggelam dengan volume air 1000 ml. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan volume air terhadap kinerja sistem solar distillation, laju evaporasi, volume air hasil distilasi, serta efisiensi pemanfaatan energi panas dalam proses distilasi. Pengukuran kondisi spons terendam (volume air 350 ml) dilakukan pada tanggal 07/01/2026, pengukuran kondisi spons tenggelam (volume air 1000 ml) dilakukan pada tanggal 09/01/2026. Pengukuran intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan dilakukan untuk mengetahui ketersediaan energi selama pengujian serta mengaitkannya dengan kinerja sistem distilasi pada kondisi volume air yang berbeda. Berikut merupakan tabel rata-rata hasil pengukuran.

TABEL 1  
Rata-Rata Hasil Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari dan Suhu

Tanggal	Intensitas Radiasi Matahari ( $W/m^2$ )	Suhu ( $^{\circ}C$ )
07/01/2026	360.0125	30.7
09/01/2026	349.6125	29.775

Dengan kondisi intensitas dan suhu yang tidak jauh berbeda, proses penguapan pada sistem distilasi surya diperkirakan berlangsung pada tingkat energi yang relatif sama. Namun demikian, perbedaan volume air menyebabkan perbedaan ketinggian air dan kondisi perendaman spons, sehingga memengaruhi efektivitas pemanfaatan energi radiasi matahari dalam proses evaporasi dan berdampak pada volume air hasil distilasi.



GAMBAR 2  
Volume Air Hasil Distilasi

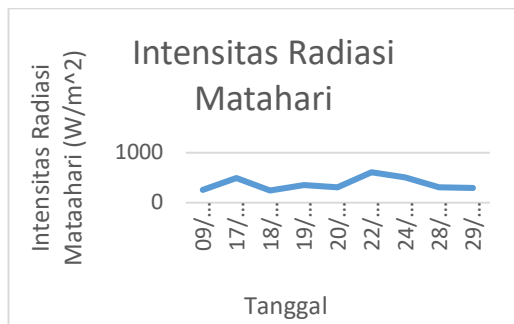
Berdasarkan grafik, volume air hasil distilasi pada kondisi spons terendam dengan volume 350 ml secara umum lebih tinggi dibandingkan kondisi spons tenggelam dengan volume 1000 ml untuk seluruh variasi perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan volume air hasil distilasi tidak

hanya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan, tetapi juga oleh kondisi ketinggian air dan posisi spons di dalam kotak penguap.

Pada kondisi volume air 350 ml, spons berada dalam keadaan terendam optimal sehingga permukaan spons tetap terekspos terhadap udara dan memungkinkan terbentuknya luas antarmuka air dan udara yang lebih besar. Kondisi ini mendukung proses evaporasi yang lebih efektif. Sebaliknya, pada volume air 1000 ml, spons cenderung berada dalam kondisi tenggelam, yang menyebabkan berkurangnya luas permukaan efektif untuk penguapan meskipun energi radiasi matahari yang diterima relatif sama. Dengan demikian, bahwa ketinggian air dan kondisi perendaman spons berperan penting dalam menentukan efektivitas pemanfaatan energi radiasi matahari terhadap proses evaporasi dan volume air hasil distilasi. Maka, volume air 350 ml dengan kondisi spons terendam dipilih dan dipakai sebagai kondisi operasi utama untuk melakukan pengambilan data selanjutnya, karena pada kondisi ini sistem menunjukkan kinerja distilasi yang lebih optimal dan pemanfaatan energi panas yang lebih efektif dibandingkan dengan volume air yang lebih besar.

**3.2. Hasil Pengukuran Kondisi Operasional**

Dilakukan pengukuran intensitas radiasi matahari selama proses pengujian, untuk menunjukkan besarnya energi surya yang diterima oleh sistem *solar distillation*. Berikut grafik intensitas radiasi matahari.



GAMBAR 3  
Intensitas Radiasi Matahari

Berdasarkan data hasil pengukuran, intensitas radiasi matahari menunjukkan fluktuasi harian, Pola intensitas radiasi per jam menunjukkan bahwa nilai puncak umumnya terjadi sekitar pukul 10:00 hingga 13:00, sesuai dengan posisi matahari yang paling tinggi. Variabilitas intensitas harian ini penting karena secara langsung memengaruhi energi panas yang tersedia untuk penguapan, dan oleh karena itu, harus dipertimbangkan saat membandingkan volume hasil distilasi. Kinerja alat distilasi yang optimal bergantung pada tingginya intensitas radiasi matahari yang stabil.

Suhu lingkungan merupakan salah satu parameter yang memengaruhi kinerja system solar distillation. Suhu berperan dalam menentukan laju perpindahan panas dari radiasi matahari ke system distilasi, serta memengaruhi proses penguapan di dalam alat. Berikut merupakan grafik hasil pengukuran suhu lingkungan.



GAMBAR 4  
Suhu Lingkungan

Pengukuran suhu dilakukan di luar sistem distilasi, sehingga nilai suhu dipengaruhi oleh factor lingkungan lain seperti kecepatan angin, tutupan awan, kelembaban udara dan kemungkinan error pada alat termokopel. Suhu yang tinggi dapat membantu mempercepat perpindahan panas, juga berperan terhadap peningkatan laju penguapan air.

**3.3. Porositas Spons**

Porositas spons juga dianalisis untuk mengetahui persentase ruang kosong di dalam material spons yang dapat terisi oleh air. Porositas merupakan parameter penting karena memengaruhi distribusi air dan perpindahan panas selama proses distilasi. Data hasil perhitungan porositas spons untuk setiap variasi ketebalan disajikan dalam tabel berikut.

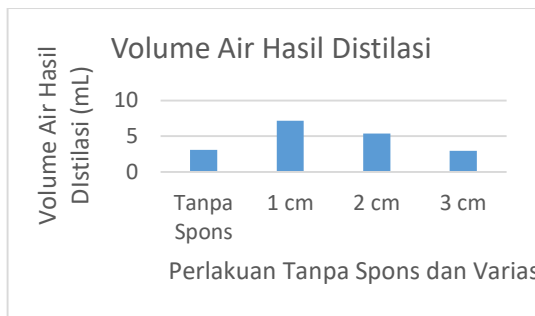
TABEL 2  
Porositas Variasi Ketebalan Spons

Parameter	Spons 1 cm	Spons 2 cm	Spons 3 cm
Massa Spons Kering(kg)	0.008	0.014	0.025
Massa Spons Setelah Terendam Air (kg)	0.031	0.0573	0.0893
Volume Total Spons (m <sup>3</sup> )	0.0002	0.0004	0.0006
Massa Jenis Air (kg/m <sup>3</sup> )	1025	1025	1025
Porositas	11.22%	10.56%	10.46%

Persentase ruang kosong di dalam material spons, sangat memengaruhi volume air yang dapat ditampung. Namun, dalam sistem distilasi surya porositas yang sangat tinggi pada spons yang tebal dapat mengurangi efektivitas proses karena berpotensi menahan air sehingga menghambat perpindahan panas dan proses penguapan. Spons 1 cm, dengan porositas persentase 11.50%, mampu memaksimalkan penguapan karena air yang terserap tersebar lebih merata.

**3.4. Volume Air Hasil Distilasi**

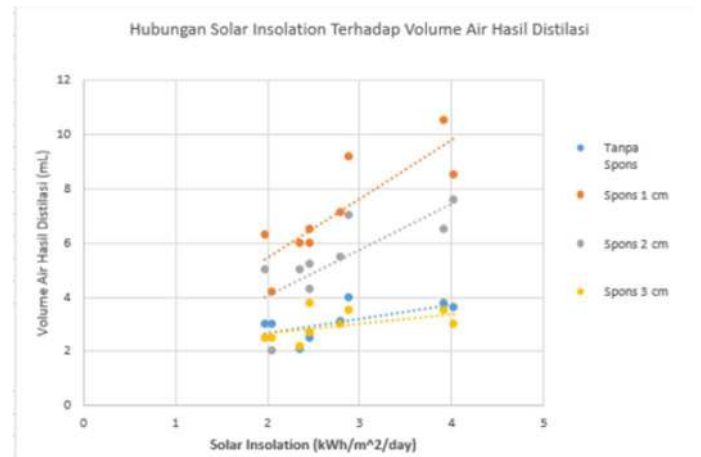
Untuk mengevaluasi kinerja sistem solar distillation, dilakukan pengukuran volume air hasil distilasi pada setiap variasi ketebalan spons dan kondisi tanpa spons. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas radiasi matahari, suhu, dan karakteristik spons terhadap jumlah air distilat yang dihasilkan. Data volume air hasil distilasi selanjutnya disajikan dalam bentuk table dan diagram, sebagai berikut.



GAMBAR 5  
Volume Air Hasil Distilasi

Penggunaan spons memberikan peningkatan volume air hasil distilasi dibandingkan dengan kondisi tanpa spons, meskipun besarnya peningkatan tersebut bervariasi. Perbedaan volume air hasil distilasi ini tidak terlepas dari pengaruh kondisi lingkungan selama pengujian.

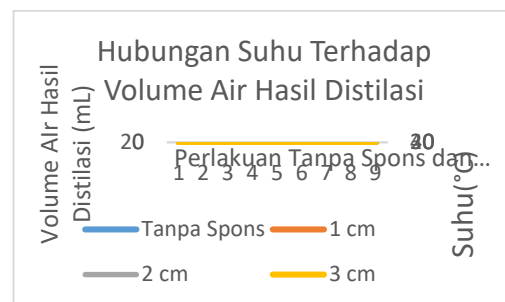
Besarnya intensitas radiasi matahari yang diterima oleh sistem distilasi akan memengaruhi jumlah energi panas yang diserap, sehingga berperan langsung pada laju evaporasi dan volume air hasil distilasi. Energi radiasi matahari tersebut terakumulasi selama periode pengujian dan dinyatakan sebagai solar insolation. Berikut merupakan grafik hubungan solar insolation dengan volume air hasil distilasi.



GAMBAR 6  
Grafik Hubungan Solar Insolation Terhadap Volume Air Hasil Distilasi

Grafik menunjukkan spons dengan ketebalan 1 cm dan 2 cm cenderung menghasilkan volume air distilasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan spons 3 cm pada tingkat energy surya yang sama. Kondisi ini menunjukkan jika ketebalan spons yang lebih tipis hingga sedang lebih efektif dalam mendukung proses evaporasi. Lalu kondisi tanpa spons, volume air hasil distilasi relatif lebih rendah meskipun terjadi peningkatan energy surya. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan luas permukaan kontak air dengan udara, sehingga pemanfaatan energy panas untuk proses penguapan tidak berlangsung secara optimal.

Pengukuran suhu juga dilakukan selama proses distilasi, untuk mengetahui hubungan antara suhu dan volume air hasil distilasi yang dihasilkan, berikut grafik nya:

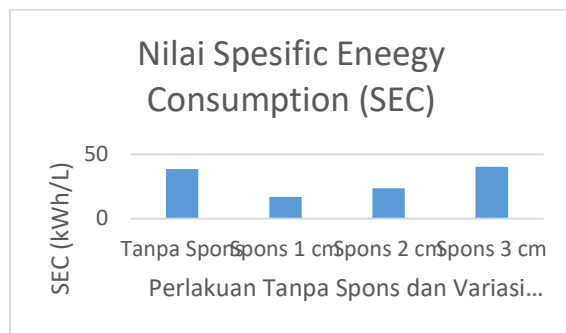


GAMBAR 7  
Grafik Hubungan Suhu Terhadap Volume Air Hasil Distilasi

Berdasarkan grafik hubungan antara suhu rata-rata harian dengan volume air hasil distilasi, pada beberapa kondisi peningkatan suhu diikuti oleh peningkatan volume air hasil distilasi, namun pada kondisi lain hubungan antara kedua parameter tidak terlihat linear. sehingga perubahan suhu lingkungan tidak selalu berbanding lurus dengan volume air hasil distilasi yang dihasilkan.

### 3.5. Specific Energy Consumption (SEC)

Untuk mengevaluasi efisiensi energy pada sistem distiasi surya, dilakukan perhitungan SEC yang menyatakan besarnya energy surya yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan volume air distilat. Nilai SEC digunakan sebagai parameter kinerja sistem dalam membandingkan pengaruh variasi ketebalan spons terhadap efisiensi energy proses distilasi. Berikut diagram perbandingan SEC dari keempat konfigurasi.



GAMBAR 8

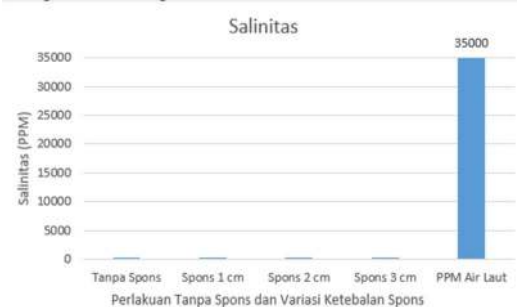
Histogram Specific Energy Consumption (SEC)

Penggunaan spons dengan ketebalan 1 cm menghasilkan nilai SEC paling rendah dibandingkan perlakuan lain dengan nilai SEC sebesar 16.6 kWh/L, itu menunjukkan bahwa energy radiasi matahari yang diterima berkaitan dengan porositas spons 1 cm yang lebih tinggi dan distribusi air yang lebih merata. Ketebalan spons 2 cm cenderung meningkatkan nilai SEC didapat nilainya yaitu 23.45 kWh/L, kondisi ini menunjukkan bahwa spons yang lebih tebal sebagian energy panas yang diterima sistem tidak sepenuhnya berperan terhadap proses penguapan, melainkan dapat terhambat oleh struktur spons yang lebih padat. Nilai SEC tertinggi diperoleh pada penggunaan spons dengan ketebalan 3 cm dengan nilai 40.1 kWh/L. Hal ini menunjukkan bahwa energi radiasi matahari yang diterima sistem tidak dikonversi secara efektif menjadi uap air. Ketebalan spons yang berlebih menyebabkan sebagian air terserap lebih dalam ke dalam struktur spons dan berada di luar zona penerimaan panas yang optimal. Nilai SEC pada kondisi tanpa spons tergolong relatif tinggi dibandingkan variasi penggunaan spons dengan ketebalan 1 cm dan 2 cm, namun lebih rendah dibandingkan spons 3 cm didapat nilai SEC pada kondisi ini yaitu 38.36 kWh/L. Nilai SEC tanpa spons masih lebih rendah dibandingkan spons 3 cm karena tidak adanya air yang terperangkap di dalam material, sehingga kehilangan panas akibat penyerapan internal dapat diminimalkan.

### 3.6. Salinitas Air Hasil Distilasi

Untuk mengevaluasi kualitas air hasil distilasi, dilakukan pengukuran tingkat salinitas menggunakan alat TDS meter. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana proses

*solar distillation* mampu menurunkan kandungan garam terlarut dari air garam yang memiliki konsentrasi sebesar 35.000 ppm. Hasil pengukuran alinitas air distilasi pada setiap variasi ketebalan dan tidak memakai spons disajikan dalam bentuk histogram, sebagai berikut:



GAMBAR 9  
Histogram Salinitas

Berdasarkan tabel dan histogram salinitas air hasil distilasi, terlihat bahwa seluruh variasi perlakuan, baik tanpa spons maupun dengan penambahan spons pada ketebalan 1 cm, 2 cm, dan 3 cm, menghasilkan air dengan nilai salinitas yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem solar distillation mampu menurunkan kadar garam air baku secara efektif, karena garam terlarut tidak ikut menguap selama proses distilasi.

Nilai salinitas air hasil distilasi juga berkaitan dengan karakteristik penyerapan spons khususnya porositas. Spons dengan porositas yang sesuai dan ketebalan yang lebih tipis memungkinkan air tersebar lebih merata dan berada lebih dekat dengan permukaan penerimaan panas, sehingga proses evaporasi berlangsung lebih efektif. Kondisi ini menghasilkan uap air yang lebih murni dan berdampak pada nilai salinitas air hasil distilasi yang lebih rendah.

## 4. Kesimpulan

Porositas spons memengaruhi distribusi air dan perpindahan panas dalam sistem. Porositas yang terlalu tinggi pada spons yang lebih tebal berpotensi menahan air di dalam rongga sehingga mengurangi efektivitas penguapan. Berdasarkan variasi perlakuan yang diuji, kondisi tanpa menggunakan spons menghasilkan volume air distilasi yang rendah dengan nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) lebih rendah dibandingkan kondisi ketebalan spons 3 cm dan salinitas air distilat yang lebih rendah dibandingkan kondisi ketebalan spons 2 cm dan 3 cm. Penggunaan spons dengan ketebalan 1 cm memberikan kinerja terbaik, ditunjukkan oleh volume air hasil distilasi tertinggi, nilai SEC terendah, serta salinitas terendah. Spons dengan ketebalan 2 cm masih mampu meningkatkan volume air hasil distilasi, namun menunjukkan nilai SEC yang lebih tinggi dan salinitas yang meningkat dibandingkan spons 1 cm. Sementara itu, spons

dengan ketebalan 3 cm menghasilkan kinerja terendah, dengan volume air distilasi yang rendah, nilai SEC tertinggi, serta salinitas yang lebih tinggi dibandingkan spons dengan ketebalan lebih tipis dan perluan tanpa menggunakan spons.

**Daftar Pustaka:**

- [1] N. K. Caturwati, Y. Yusuf, I. Rosyadi, and A. F. Almarwan, "Comparison of the Effectiveness of 45° and 60° Cover Angle on the Production of Clean Water on Double Slope Solar Distillations (Perbandingan

Efektivitas Sudut Penutup 45° dan 60° pada Double Slope Solar Destilasi Sebagai Penyedia Air Bersih)," *J. Renew. Energy Mech. E-ISSN*, vol. 03, no. 02, pp. 2714–6219, 2020, doi: 10.25299/rem.2020.vol3(02).5176.

- [2] H. Fu *et al.*, "Updates on Evaporation and Condensation Methods for the Performance Improvement of Solar Stills," pp. 1–26, 2021.