

Pengaruh Ketebalan Briket Arang terhadap Perubahan Temperatur dan Kelembaban pada Desalinasi Surya Sistem *Interfacial Heating*

Saut Ronny T. Siagian ¹⁾, Muhamad Jafri ^{2*)}, Ben V. Tarigan ³⁾, Defmit B. N. Riwu ⁴⁾,
Dominggus G. H. Adoe ⁵⁾

¹⁻⁵⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001

*Corresponding author: muhamad_jafri@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Desalinasi surya merupakan proses pengurangan kadar garam dari air asin dengan memanfaatkan panas matahari untuk menghasilkan air tawar. Distilasi sebagai salah satu metode desalinasi surya tradisional kerap diaplikasikan tetapi memiliki laju evaporasi yang rendah. Dalam beberapa tahun terakhir, *interfacial heating* telah diusulkan sebagai alternatif evaporasi dengan menciptakan lokalisasi panas pada permukaan cairan. Dalam penelitian ini, briket arang diteliti sebagai material *solar absorber* untuk mempercepat proses evaporasi. Percobaan dilakukan pada 4 basin tipe *single slope* dengan menggunakan briket setebal 10, 15 dan 20 mm selama 8 jam di bawah sinar matahari. Basin tanpa arang juga diuji sebagai perbandingan. Temperatur dan kelembaban diukur di beberapa titik dalam basin untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi evaporasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur dan kelembaban dalam tiap basin memiliki tren perubahan yang serupa dimana temperatur sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari. Proses penguapan meningkat ketika temperatur tinggi dan kelembaban rendah. Sedangkan kondensasi sangat bergantung pada kelembaban, kelembaban yang tinggi mampu membuat molekul uap air lebih cepat mencapai titik embunnya. Proses kondensasi ini akan sangat berdampak pada produktivitas distilat.

ABSTRACT

Solar desalination is the process of reducing brine salinity by using heat from the sun to produce fresh water. Distillation is one of the traditional solar desalination methods, but it has a low evaporation rate. Recently, interfacial solar evaporation by thermal localization at the liquid interface has been proposed as a promising alternative to evaporation. In this study, briquettes were investigated as the interface solar absorber to increase vapor production. Experiments were carried out in 4 single-slope type distillers for 8 hours under clear sunlight using 10, 15 and 20 mm thick briquettes. For comparison, we also looked at distiller (basin) with no charcoal. Temperatures and humidity were measured at several position within the basin to identify factors contributing to seawater evaporation. It has been found that temperature and humidity in each basin have similar changing trends where solar radiation strongly influences the temperature. The vapor generation process increases when temperature is high and humidity is low. While condensation is highly dependent on humidity, high humidity is able to make water vapor molecule reach its dew point faster. This condensation process will greatly impact the productivity of the distillate.

Keywords: Desalination, solar still, interfacial evaporation, charcoal, capillarity

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, air bersih semakin dibutuhkan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Maka dengan itu, produksi air bersih juga harus diimbangi supaya kebutuhan air dapat tercukupi, karena menurut PBB bahwa pada tahun 2025, diperkirakan 1,8 miliar jiwa di dunia akan mengalami kelangkaan air bersih [1].

Sumber air bersih saat ini dapat diperoleh dari mata air, sungai, danau, dan laut, namun saat ini sebagian besar sumber air tersebut telah tercemar bahan kimia dan zat beracun yang berbahaya bagi manusia, seperti pencemaran udara yang menyebabkan air hujan bercampur dengan asap industri dan asap dari kendaraan.

Masalah tersebut dapat diatasi dengan pemanfaatan air laut, sebagaimana air laut

sangat berlimpah karena 2/3 dari wilayah Indonesia merupakan lautan atau 71% permukaan bumi. Maka dengan itu persediaan air laut dipastikan tidak akan habis. Akan tetapi air laut tidak dapat digunakan secara langsung karena memiliki kadar garam yang tinggi yaitu sekitar 3 % [2]. Supaya air laut dapat dikonsumsi, maka perlu diubah menjadi air tawar terlebih dahulu, proses inilah yang dikenal dengan desalinasi.

Desalinasi secara umum merupakan proses menghilangkan garam dari air laut atau air asin. Banyak metode desalinasi telah dikembangkan, seperti desalinasi membran, *reverse osmosis*, *electrodialysis*, *multistage flash distillation*, *multi-effect distillation* dan desalinasi surya antar-muka (*solar-driven interfacial desalination*). Dari antara beberapa metode tersebut, desalinasi surya antar-muka (*solar-driven interfacial desalination*) telah menarik perhatian karena efisiensinya yang tinggi, biaya terjangkau, dan lebih portabel dibandingkan dengan metode lainnya [3]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas air tawar hasil desalinasi surya akan meningkat jika ditambahkan material penyimpan panas (*thermal storage material*) ke dalam proses distilasi surya (*solar still*) [4].

Dalam sistem *solar still* tradisional, material penyerap kalor ditempatkan di dasar air laut yang disebut pemanasan dasar (*bottom heating*). Metode ini memiliki efisiensi evaporasi 30% - 45% [5]. Di samping itu, untuk mengurangi rugi-rugi kalor (*heat loss*), dilakukan penelitian menggunakan metode pemanasan volumetrik (*volumetric heating*) menggunakan tinta atau nanofluida dalam air guna mencapai efisiensi evaporasi yang sama. Namun, peningkatan efisiensi evaporasinya relatif rendah dan stabilitas nanofluida dalam jangka panjang tetap menjadi masalah [6].

Pada tahun 2014, Ghasemi dkk. [7] telah berhasil meningkatkan efisiensi evaporasi hingga 64% menggunakan konsep evaporasi surya antar-muka (*interfacial solar evaporation*) dengan menciptakan lokalisasi panas pada material *graphite* dan *carbon foam* yang mengapung di permukaan air.

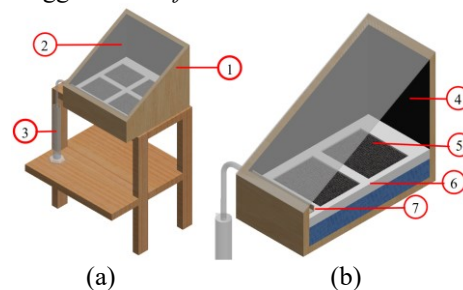
Thermal storage material menjadi solusi baru karena membantu meningkatkan

perpindahan kalor dan massa pada *solar still* [4]. Material seperti kerikil, spons, kawat logam, pewarna dan lainnya dapat digunakan pada *solar still* untuk meningkatkan suhu air sehingga mampu bertahan lebih lama. Arang kayu selain mengandung karbon, arang memiliki sifat berpori dan daya serap energi yang tinggi sehingga akan menjadi material yang efektif untuk perpindahan panas radiasi dan konveksi. Okeke dkk. [6] berpendapat bahwa dengan menambahkan arang ke dalam air laut akan meningkatkan efisiensi evaporasi dikarenakan terjadi penyerapan energi matahari ke air. Mahdi dkk. [7] juga menyatakan bahwa arang merupakan material yang baik untuk absorber/evaporator dan medium transpor air.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan distilasi surya tipe *single slope* (kemiringan tunggal) dengan kemiringan 30°. Rangka alat atau basin terbuat dari multiplek 12 mm dengan dimensi 33 × 33 cm, yang dilapisi dengan lembaran akrilik hitam pada bagian dalam basin agar dapat menampung air laut sebanyak 2 liter. Untuk meningkatkan penyerapan kalor di dalam basin, ditambahkan briket arang dari campuran arang kayu kesambi dan kanji yang dibentuk di dalam *styrofoam* dengan ukuran 29 × 29 cm.

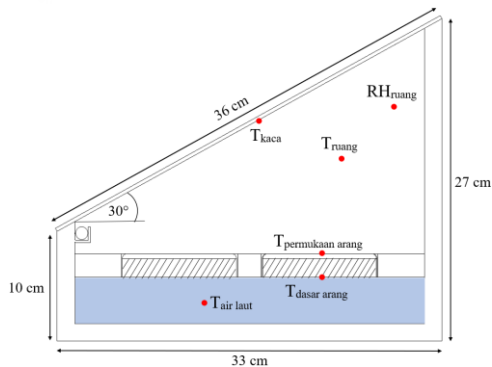
Berikut desain alat distilasi air laut menggunakan *software* Solidworks 2021 :



Gambar 1. Model 3D alat distilasi

Keterangan gambar :

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. Multiplek 12 mm | 5. Briket arang |
| 2. Kaca transparan | 6. <i>Styrofoam</i> |
| 3. Gelas ukur | 7. Jalur distilat |
| 4. Akrilik | |



Gambar 2. Dimensi alat distilasi dan skema penempatan alat ukur

Keterangan :

T = Temperatur

RH = Kelembaban relatif

Preparasi Briket Arang

1. Arang dihaluskan dan disaring hingga menjadi butiran-butiran arang lalu ditimbang dengan massa 1 kg.
2. Tepung kanji ditimbang dengan massa 70 gr, lalu dimasak dengan campuran air hingga mengental dan dicampur ke butiran arang kemudian diaduk hingga merata.
3. Campuran briket kemudian ditimbang untuk tiap petak pada *styrofoam*, petak ketebalan 10 mm seberat 75 gr, petak ketebalan 15 mm seberat 112,5 gr dan petak ketebalan 20 mm seberat 150 gr.
4. Briket yang telah dimasukkan ke dalam *styrofoam* kemudian dijemur selama 1 hari hingga kering dan mengeras.

Pengujian

Pengujian dilakukan selama 8 jam mulai pukul 08:00 – 16:00 di bawah sinar matahari. Pengukuran temperatur menggunakan Termokopel Max6675 yang dihubungkan dengan Arduino Mega sebagai *data logger*, dengan interval pengambilan data setiap 1 menit. Termokopel mengukur temperatur kaca, ruang basin, arang, dan air laut. Sedangkan, kelembaban diukur setiap menit menggunakan *data logger* Elitech RC-4HC. Intensitas matahari juga diukur secara manual menggunakan Solar Power Meter SM206

dengan interval 30 menit. Di luar basin, distilat ditampung dalam gelas ukur sehingga dapat diukur produktivitasnya setiap 30 menit.

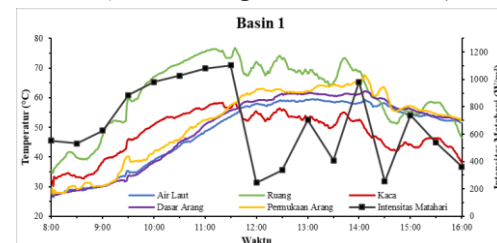


Gambar 3. Set-up pengujian alat distilasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Intensitas Matahari terhadap Perubahan Temperatur

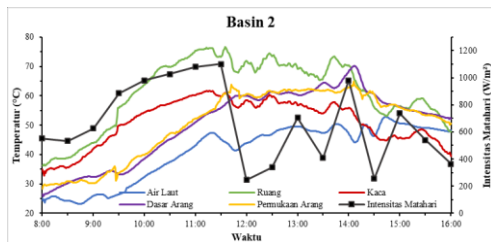
Basin 1 (Briket arang ketebalan 10 mm)



Gambar 4. Grafik hubungan intensitas matahari dengan temperatur pada basin 1

Pada briket arang ketebalan 10 mm ini, air laut dapat naik ke permukaan arang dengan mudah karena dibantu oleh sifat hidrofilik dari kain flanel dan arang itu sendiri. Selain itu, proses kapilaritas air laut ini juga didukung oleh arang yang menerima paparan sinar matahari langsung sehingga temperatur arang meningkat. Dengan meningkatnya temperatur arang, maka akan lebih banyak memasok energi ke air laut. Energi ini disimpan dalam bentuk energi kinetik molekul air laut. Molekul air laut kemudian cenderung bergerak cepat hingga air memuai dan densitasnya menurun. Penurunan densitas fluida umumnya akan menyebabkan fluida semakin ringan dan cenderung bergerak ke atas. Itu sebabnya air laut dapat terus naik ke permukaan arang melalui pori-pori arang.

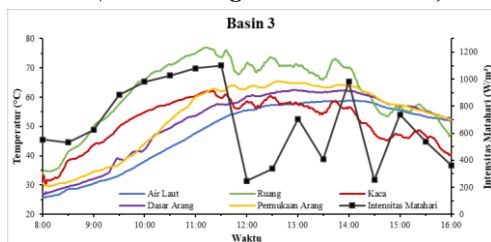
Basin 2 (Briket arang ketebalan 15 mm)



Gambar 5. Grafik hubungan intensitas matahari dengan temperatur pada basin 2

Gambar 5 menunjukkan pola grafik yang serupa dengan grafik pada basin 1, namun temperatur arang pada basin 2 ini sedikit lebih tinggi dibandingkan temperatur arang basin 1. Hal ini dikarenakan adanya penambahan material arang, yang dimana sebelumnya pada basin 1 hanya dengan ketebalan 10 mm dan massa 300 gram. Sedangkan basin 2 dengan ketebalan 15 mm dan massa 450 gram. Temperatur arang yang lebih tinggi ini akan mempercepat kapilaritas air laut, sehingga proses evaporasi pada basin 2 ini akan terjadi sedikit lebih cepat dibandingkan basin 1.

Basin 3 (Briket arang ketebalan 20 mm)

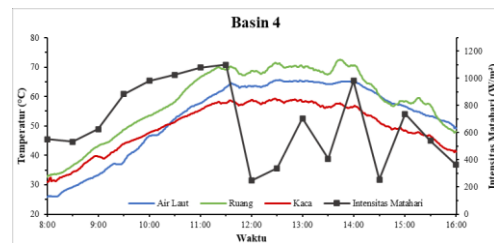


Gambar 6. Grafik hubungan intensitas matahari dengan temperatur pada basin 3

Penambahan massa arang pada basin 3 ini menjadi 600 gram dan ketebalan yang juga bertambah menjadi 20 mm menghasilkan pola grafik yang sedikit berbeda dengan basin 1 dan 2. Temperatur arang mampu lebih tinggi di awal penelitian saat intensitas matahari mengalami kenaikan sehingga evaporasi bisa terjadi lebih cepat. Namun saat intensitas matahari mengalami penurunan pada pukul 12:00, briket arang cenderung menyimpan air dikarenakan pada waktu tersebut arang membutuhkan energi matahari yang lebih untuk membantu proses kapilaritas air laut

melewati ketebalan arang 20 mm ini. Hal ini tidak menghentikan proses evaporasi, evaporasi masih tetap berlangsung namun dengan laju yang lebih lambat dibandingkan dengan evaporasi pada basin 2. Hal ini akan berdampak pada produktivitas distilat, dimana basin 3 akan menghasilkan total distilat yang tidak berbeda jauh dengan basin 2.

Basin 4 (Tanpa arang)



Gambar 7. Grafik hubungan intensitas matahari dengan temperatur pada basin 4

Basin 4 menjadi basin dengan luas penampang penerima energi matahari paling luas di antara ketiga basin lainnya, dikarenakan basin 4 tidak menggunakan arang dan styrofoam yang menutupi permukaan air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa air kurang efisien dalam menyimpan energi panas dibandingkan arang. Hal ini ditunjukkan dengan permukaan kaca basin 4 yang lebih lambat mengalami pengkabutan (*fogging*) dibandingkan basin 1, 2 dan 3 (Gambar 8)

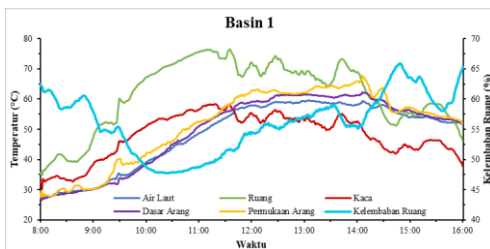


Gambar 8. Proses pengkabutan (*fogging*) pada permukaan kaca basin 1, 2, 3 dan 4

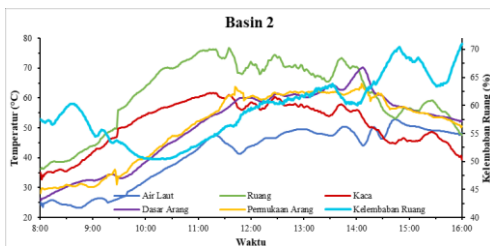
Hubungan Temperatur (T) dan Kelembaban (RH)

Kelembaban relatif (*Relative Humidity*) menyatakan nilai persentase perbandingan kandungan uap air dalam ruang basin dengan kemungkinan kandungan uap air maksimum yang mampu ditampung udara. Dalam istilah lain, RH juga disebut sebagai ukuran seberapa

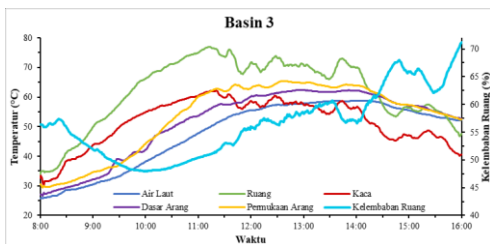
dekat temperatur udara hingga mencapai titik embun (*dew point*). Pada temperatur titik embun, maka RH bernilai 100 % dan menghasilkan kondensat. Kandungan uap air juga bergantung pada tekanan uap air (*vapor pressure*). Tekanan uap naik karena molekul uap air memiliki kecepatan yang tinggi seiring meningkatnya temperatur.



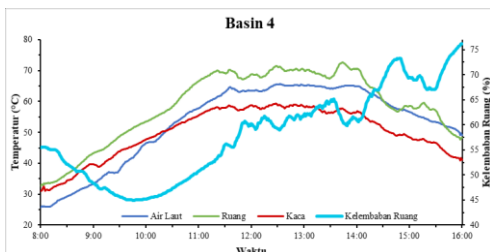
Gambar 9. Grafik T dan RH pada basin 1



Gambar 10. Grafik T dan RH pada basin 2



Gambar 11. Grafik T dan RH pada basin 3



Gambar 12. Grafik T dan RH pada basin 4

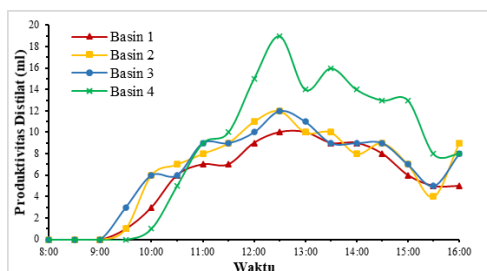
Kelembaban ruang dalam basin 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan tren yang serupa, dimana pada pukul 08.00-10.00 kelembaban tiap basin mengalami penurunan seiring dengan naiknya temperatur. Namun, pada sekitar pukul 10.00-13.30 kelembaban ruang tiap basin kembali meningkat. *Relative humidity* (RH) dapat dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu kondensasi dan evaporasi. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$RH = \frac{\text{Laju kondensasi}}{\text{Laju evaporasi}} \times 100 \% \quad (1)$$

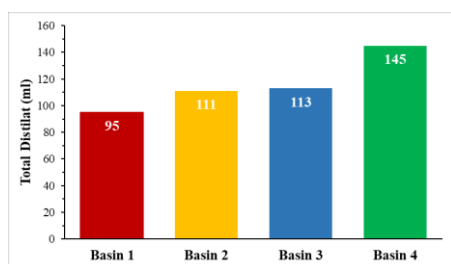
Pada pukul 08.00 – 10.00, dapat dinyatakan bahwa laju evaporasi melebihi laju kondensasi karena baru sedikit molekul uap air yang terbentuk. Dengan berjalannya waktu, molekul uap air yang ada di ruang semakin bertambah. Seiring dengan meningkatnya jumlah molekul uap air, peluang molekul uap air untuk mengembun kembali menjadi fase cair juga meningkat, yang artinya terjadi peningkatan laju kondensasi. Oleh sebab itu, peningkatan RH berbanding lurus dengan peningkatan laju kondensasi. Hal ini dapat kita amati pada pukul 10.00 – 13.30 saat RH mengalami kenaikan. Namun dalam prakteknya, kelembaban relatif tidak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di atas karena tidak mudah menentukan laju evaporasi dan kondensasi pada waktu tertentu.

Selain itu, dapat disimpulkan juga bahwa ketika laju evaporasi jauh lebih besar daripada laju kondensasi, ada perbedaan besar antara suhu dan titik embun, sehingga RH rendah. Ketika laju evaporasi dan laju kondensasi serupa, ada selisih kecil antara suhu dan titik embun, yang menyebabkan RH tinggi. Hal ini dapat dilihat pada pukul 15.30 – 16.00 saat intensitas matahari menurun dan laju evaporasi melambat yang menyebabkan molekul uap air di kaca lebih cepat mencapai titik embunnya sehingga terjadi kondensasi.

Produktivitas Distilat



Gambar 13. Grafik hubungan produktivitas distilat dan intensitas matahari setiap 30 menit



Gambar 14. Grafik total produksi distilat basin 1, 2, 3 dan 4 selama 8 jam pengujian

Distilat merupakan hasil akhir dari proses distilasi yang terbentuk melalui proses kapilaritas air laut, evaporasi hingga mencapai proses kondensasi. Dalam penelitian ini, produktivitas distilat sangat dipengaruhi oleh sumber energi panas yang diterima, yaitu radiasi matahari. Karena semakin tinggi radiasi matahari, maka temperatur akan meningkat dan air laut mampu mencapai titik didihnya (*boiling point*). Namun, dengan kenaikan temperatur akan menyebabkan penurunan RH yang berdampak pada molekul uap air sulit mencapai titik embun (*dew point*). Hal inilah yang menghambat laju kondensasi dan pembentukan distilat.

Gambar 13 menunjukkan bahwa pada basin 1, 2 dan 3 sudah mulai memproduksi distilat pada pukul 9:30. Sedangkan, basin 4 baru memproduksi distilat pada pukul 10:00. Data ini membuktikan bahwa penggunaan briket arang berhasil meningkatkan laju evaporasi air laut dan produktivitas distilat, namun intensitas matahari pula mempengaruhi produktivitas distilat. Pada

basin 2 dan 3, produktivitas distilat menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Hasil distilat sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari yang mampu meningkatkan temperatur di dalam basin. Terlihat pada saat intensitas matahari menurun yang umumnya disebabkan oleh adanya awan yang menutupi sinar matahari, basin 3 dengan ketebalan 20 mm menunjukkan produktivitas distilat yang lebih sedikit dibandingkan basin 2 dikarenakan proses kapilaritas yang lebih lambat. Pada kasus ini, basin 2 dengan tebal arang 10 mm ini lebih efektif dibandingkan basin 3 dalam mendistribusikan air ke permukaan untuk evaporasi.

Adapun basin 4 yang tanpa menggunakan arang, produktivitas distilat tetap meningkat karena banyak uap air yang telah menempel pada kaca, sehingga saat intensitas matahari menurun drastis pada pukul 12:00 terjadi penurunan temperatur ruangan akibatnya terjadi kondensasi dan menghasilkan distilat. Selain itu, pengkabutan uap air pada permukaan kaca basin 4 tidak begitu menghalangi intensitas matahari masuk untuk memanaskan air di dalam basin, sehingga proses kondensasi akan lebih baik dan produktivitas air tawar akan lebih baik juga, walau temperatur permukaan air laut tidak semaksimal jika dengan menggunakan material arang.

Dari hasil pengamatan, proses pembentukan distilat dalam penelitian dapat terjadi karena 2 hal yaitu penurunan intensitas matahari yang berdampak kepada penurunan temperatur serta jumlah molekul uap air yang semakin banyak dalam ruang basin, sehingga densitas molekul uap semakin padat dan kembali berubah menjadi fasa cair. Total distilat antara basin 1, 2, 3 dan basin 4 disajikan pada Gambar 14. Hasil distilat maksimal diperoleh pada basin 4 sebanyak 145 ml, diikuti basin 3 sebanyak 113 ml, basin 2 sebanyak 111 ml dan basin 1 sebanyak 95 ml. Dengan perbedaan hasil yang diperoleh pada setiap basin ini dapat disimpulkan bahwa pada basin 1, 2 dan 3 yang diberikan briket arang dengan perbedaan ketebalan akan mempengaruhi temperatur dan kalor laten pada air laut dalam menghasilkan air tawar.

KESIMPULAN

- Proses desalinasi dengan metode distilasi pada penelitian ini menguji pengaruh ketebalan briket arang terhadap proses distilasi surya. Hasilnya, semakin tebal arang maka penyerapan kalor dalam basin akan meningkat. Namun, ketebalan arang juga tidak terlepas dari pengaruh intensitas matahari, akibatnya jika arang semakin tebal diperlukan energi matahari yang lebih untuk mentransfer air laut naik ke permukaan arang.
- Pengukuran temperatur dan kelembaban dalam tiap basin pula memiliki tren perubahan yang serupa dimana temperatur meningkat seiring peningkatan intensitas matahari sedangkan kelembaban (RH) cenderung berbanding terbalik dengan temperatur. Adanya material briket arang ini juga mampu melokalisasikan panas untuk meningkatkan laju evaporasi di dalam basin. Dengan meningkatnya laju evaporasi, maka akan meningkatkan produktivitas distilat pula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. UN-Water, "Coping With Water Scarcity: A Strategic Issue and Priority for System-Wide Action," 2006. doi: 10.1007/978-1-4020-9579-5.
- [2]. P. Durkaieswaran and K. K. Murugavel, "Various special designs of single basin passive solar still - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 1048–1060, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.111.
- [3]. F. Tao, A. Valenzuela Garcia, T. Xiao, Y. Zhang, Y. Yin, and X. Chen, "Interfacial Solar Vapor Generation: Introducing Students to Experimental Procedures and Analysis for Efficiently Harvesting Energy and Generating Vapor at the Air-Water Interface," *J. Chem. Educ.*, vol. 97, no. 4, pp. 1093–1100, 2020, doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00643.
- [4]. M. M. Naim and M. A. Abd El Kawi, "Non-conventional solar stills. Part 1. Non-conventional solar stills with charcoal particles as absorber medium," *Desalination*, vol. 153, no. 1–3, pp. 55–64, 2003, doi: 10.1016/S0011-9164(02)01093-7.
- [5]. P. Tao *et al.*, "Solar-driven interfacial evaporation," *Nat. Energy*, vol. 3, no. 12, pp. 1031–1041, 2018, doi: 10.1038/s41560-018-0260-7.
- [6]. X. Luo, J. Shi, C. Zhao, Z. Luo, X. Gu, and H. Bao, "The energy efficiency of interfacial solar desalination," *Appl. Energy*, vol. 302, no. August, p. 117581, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117581.
- [7]. H. Ghasemi *et al.*, "Solar steam generation by heat localization," *Nat. Commun.*, vol. 5, pp. 1–7, 2014, doi: 10.1038/ncomms5449.