



Simulasi CFD pada Solar Still Double Slope dengan Kolektor Pasir Besi

Purbo Suwandono^{1*}, Nova Risdiyanto Ismail¹, Dadang Hermawan¹, Frida Dwi Anggraeni²

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Indonesia

¹Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Widyagama, Indonesia

*Email Penulis: purbo@widyagama.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 07/06/2023
Naskah Direvisi 26/06/2023
Naskah Disetujui 27/06/2023
Naskah Online 30/06/2023

ABSTRAK

Solar distillation can be a sustainable alternative energy option to get fresh water from salt water. Distillation with solar energy is one of the cheap devices used for the solar desalination process in most parts of Indonesia. Numerical simulation is an analytical tool that has the ability to handle many types of complex systems. In this study, the research will simulate how CFD modeling on solar still double slope using iron sand collectors. Computational fluid dynamics analysis (CFD) can later be used to optimize water production, how the temperature distribution pattern in solar still parts. Solar still modeling uses a multiphase type flow with 3 phases, namely air, water and water vapor. In this simulation, we will see how the temperature, density of steam and velocity of fluid flow will be seen. The results of the simulation will later be compared with the results of the study. The temperature difference between experiments and simulations for collector parts was 7% and the percentage temperature difference between experiments and simulations for cover glass parts was 34%.

Kata kunci: CFD, Solar Still, Temperature, Double Slope

1. PENDAHULUAN

Air adalah komponen yang tak terhindarkan dari keberadaan makhluk hidup, sementara air minum diperlukan untuk pembangunan berkelanjutan manusia[1]. Meskipun sekitar tiga perempat permukaan bumi ditempati dengan air, air tawar yang tersedia untuk konsumsi manusia terbatas hanya sekitar 1% [2]. Permintaan air tawar global untuk industri domestik, dan penggunaan pertanian akan meningkat secara signifikan. Desalinasi adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan air tawar dari air garam [3]. Teknologi desalinasi yang paling populer digunakan di seluruh dunia adalah distilasi multi-efek (MED), multistage flashing (MSF), dan reverse osmosis (RO), akan tetapi sistem ini membutuhkan energi listrik sehingga tidak bisa diaplikasikan pada daerah terpencil. Distilasi menggunakan energi matahari dapat menjadi alternative energy pilihan berkelanjutan untuk mendapatkan air tawar dari air garam. Distilasi dengan energi matahari merupakan salah satu perangkat murah yang digunakan untuk proses desalinasi matahari di sebagian besar wilayah Indonesia.

Output air tawar dari desalinasi berbasis matahari menggunakan solar still biasanya rendah. Dengan demikian, penting untuk menyelidiki berbagai parameter yang dapat membantu dalam desain matahari masih untuk meningkatkan generasi air tawar. Untuk meningkatkan suhu air dan mempercepat laju penguapan di solar still, yang akibatnya meningkatkan produksi air tawar, banyak peneliti telah mengintegrasikan komponen yang berbeda dalam sistem desalinasi surya seperti kolektor plat datar, cermin, konsentrator surya, dan pendinginan penutup kaca. Menggunakan kondensor eksternal juga meningkatkan produksi air bersih dari desalinasi matahari[4].

Para peneliti telah menyelidiki kinerja termal penyulingan surya di bawah kondisi metrologi dan operasi yang berbeda [5]. Kedalaman air di solar still, serta geometri pelat penyerap matahari masih berpengaruh signifikan terhadap keluaran distilat. Para peneliti juga telah menyelidiki dampak media penyimpanan energi pada kinerja desalinasi matahari dengan penerapan bahan yang berbeda seperti bahan perubahan fase (PCM), PCM nano enhanced, karung goni, kerikil granit hitam, lapisan grafit terkelupas, toner hitam, tinta hitam dan pewarna hitam, dll. Analisis energi dari sistem termal memberikan evaluasi

energi berdasarkan kuantitas, sementara analisis eksergi memberikan evaluasi energi berdasarkan kualitas. Analisis exergy membantu untuk memahami proses perpindahan panas dan dapat diterapkan untuk mengurangi kerusakan eksergi, sehingga meningkatkan output dari unit desalinasi termal. Beberapa peneliti telah merancang sistem desalinasi yang terintegrasi ke dalam kolektor pelat datar dan menganalisisnya dengan bantuan efisiensi energi dan eksergi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi sekitar, termasuk iradiasi matahari, suhu sekitar, dan kecepatan angin, mempengaruhi efisiensi energi dan eksergi [6].

Simulasi numerik adalah alat analisis yang memiliki kemampuan untuk menangani berbagai jenis sistem yang kompleks. Analisis dinamika fluida komputasi (CFD) dapat memainkan peran penting dalam mengoptimalkan produksi air, konsumsi energi, dan biaya unit desalinasi berbasis termal. Desain desalinasi matahari dengan studi numerik memungkinkan kita untuk menentukan semua parameter penting desalinasi matahari dalam kesalahan yang dapat diterima dan mencapai tingkat produksi air tertinggi dengan mengubah parameter kritis, termasuk media penyimpanan energi dan permukaan penyerap. Beberapa peneliti telah meneliti solar still multistage yang masih menggunakan tabung yang vakum dengan menggunakan simulasi numerik. Penelitian tersebut menggunakan model analisis elemen hingga (FEA) untuk mensimulasikan proses penguapan dan kondensasi dalam desalinasi matahari [7]. Peneliti lain juga mengembangkan model volume fraksi di ANSYS Fluent untuk mensimulasikan suhu, aliran massa, dan fraksi volume uap air dalam desalinasi matahari lereng tunggal [8]. Rahbar dan Eshafani menggunakan analisis CFD dua dimensi untuk memprediksi kinerja per jam dari solar still. Rahbar mengusulkan model analogi Chilton-Colburn untuk memperkirakan output air dari solar still [9].

Selanjutnya, studi simulasi berbagai jenis solar still telah dilakukan, yang meliputi: single slope, double slope, solar still tubular, dan beberapa tipe lainnya. Beberapa peneliti telah menggunakan CFD sebagai alat untuk validasi berbagai desalinasi matahari. Baru-baru ini, beberapa peneliti mendemonstrasikan simulasi CFD untuk aplikasi pembersihan permukaan panel. Sonawane et al. [10] juga telah merangkum tinjauan berbasis bibliometri terperinci tentang simulasi model CFD untuk aplikasi desalinasi matahari. Beberapa karya relevan lainnya yang terkait dengan pemodelan CFD dan desalinasi air laut menggunakan energi matahari [11][12].

Pelat penyerap merupakan peralatan yang penting pada sistem solar still tipe pasif, sehingga perlu untuk dikembangkan untuk meningkatkan kinerja solar still. Pengembangan dilakukan membuat bentuk pelat penyerap model sirip menggunakan berbagai jenis material dan dimensi pasir. Jenis material dan dimensi pasir akan berpengaruh terhadap porositas, konduktivitas panas, laju penguapan, perkembangan nilai konduktivitas dan volume garam [4].

Dapat diamati bahwa konfigurasi yang berbeda dari sistem desalinasi matahari telah diteliti menggunakan eksperimen, analisis energi, analisis exergy, dan simulasi numerik. Banyak penelitian telah menggunakan simulasi CFD untuk menganalisis solar stills dengan

mempertimbangkan penerapan nanofluid, bahan perubahan fase, dan penyerap berpori. Ada juga banyak parameter sistem desalinasi matahari yang dapat dieksplorasi melalui analisis CFD. penyelidikan berbagai bahan penyerap yang digunakan dalam penyulingan surya untuk meningkatkan produksi air tawar menggunakan simulasi CFD belum dievaluasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis parametrik dari solar still dan menyelidiki kinerjanya untuk collector atau basin dengan menggunakan pasir besi dalam solar still desalination dengan simulasi CFD. Penelitian ini menggunakan hasil penelitian [4] [13] untuk membandingkan hasil eksperimen dengan simulasi numerik model menggunakan perangkat lunak CFD dengan hasil penelitian yang telah dilakukan.

2. METODE PENELITIAN

Mathematical Modeling

Kinerja solar still didasarkan pada produktivitas serta panas internal dan koefisien perpindahan massa. Panas internal dan koefisien perpindahan massa di solar still didasarkan pada konveksi, radiasi, dan penguapan. Koefisien perpindahan panas pada penelitian ini adalah perpindahan panas konvektif, koefisien perpindahan panas radiasi dan koefisien perpindahan panas evaporatif. Pada penelitian ini menggunakan solar tracing dengan mode Rooselan dengan solar tracing Pada penelitian ini menggunakan model multi phase dengan tiga fase 3 dengan model campuran yaitu udara, air dan uap air pada kondisi steady state, yang berarti hanya penguapan permukaan cairan yang terjadi. Pada penelitian ini diidentifikasi temperature, kecepatan dan densitas.

Persamaan yang digunakan dalam simulasi ini adalah kondisi steady state yang dimodelkan berdasarkan prinsip kontinuitas, momentum, energi dan perpindahan massa. Ketika energi matahari terjadi di dalam air solar still, mekanisme perpindahan panas dimulai. Persamaan keseimbangan energi dapat ditulis dengan asumsi sebagai berikut:

1. Tidak ada kebocoran uap di solar still.
2. Kapasitas panas bahan penyerap, isolasi, dan penutup dapat diabaikan.

Persamaan energy

Persamaan energy untuk campuran air dengan uap air merujuk pada persamaan 1 adalah sebagai berikut [14]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^n (\alpha_k \rho_k E_k + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n (\alpha_k v_k (\rho_k E_k + p))) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_E \quad (1)$$

Dimana k_{eff} adalah konduktivitas efektif $\sum \alpha_k (k_k + k_t)$ dan k_t adalah konduktivitas panas turbulent.

Persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas dari campuran air dengan uap air merujuk pada persamaan 2 adalah [15]

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_m) + \nabla \cdot (\rho_m v_m) = 0 \quad (2)$$

dimana v_m adalah kecepatan rata-rata $v_m = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \nabla_k}{\rho_m}$

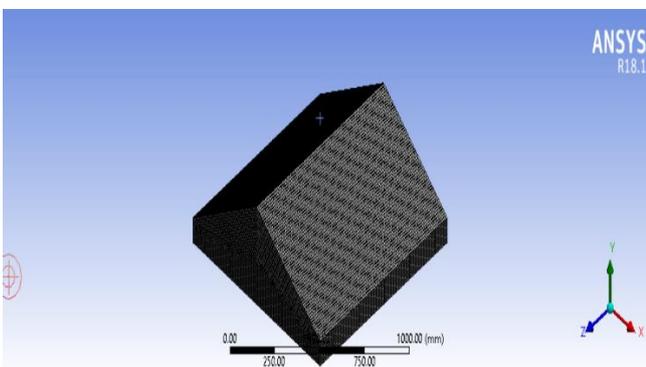
Persamaan momentum

Persamaan momentum untuk campuran didapatkan dengan menjumlahkan setiap persamaan momentum pada setiap fase merujuk pada persamaan 3. Persamaan momentum tersebut adalah [16]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_m v_m) + \nabla \cdot (\rho_m v_m v_m) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu_m (\nabla v_m + \nabla v_m^T)] + \rho_m g + F + \nabla \cdot (\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k v_{dr,k} v_{dr,k}) \quad (3)$$

Model CFD

Simulasi menggunakan software CFD. Pemodelan 3D dari solar still double slope menggunakan Design Modeler dengan ukuran solar still adalah panjang 1 m, lebar 1 m tinggi dengan ketinggian 0,4 m. Ukuran mesh yang digunakan sebesar 10 mm dengan jumlah elemen 42000.



Gambar 1. Geometry mesh double slope solar still

Pemodelan solar still menggunakan aliran tipe multiphase dengan jumlah fase adalah 3 yaitu udara, air dan uap air. Viscous model menggunakan k-epsilon dengan tipe RNG. Pada perubhan fase cair menjadi uap air dan sebaliknya uap air menjadi fase cair menggunakan model evaporation-condensation. Permodelan radiasi matahari menggunakan tipe Rosseland dengan solar ray tracing dari solar calculator. Solar tracing pada penelitian ini menggunakan posisi kota Malang dengan latitude - 7.983908 dan longitude 112.621391 dan GMT +7 Pada fluida uap air digunakan tipe incompressible ideal gas. Pada fluida cair menggunakan tipe piecewise-linear-profile[17].

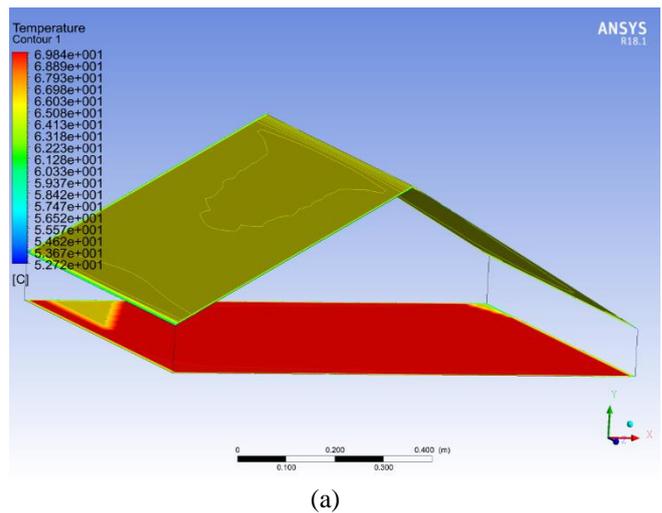
Pada penelitian ini hanya menggunakan 2 material solid yaitu kaca dan pasir besi. Pada bagian atas menggunakan material kaca yang telah tersedia pada database fluent. Bagian dasar dari solar still adalah collector dengan menggunakan material pasir besi dimana parameter pasir besi ini berdasarkan hasil penelitian dengan besaran densitas sebesar 2972 kg/m3, panas spesifik sebesar 820 J/kgK dan konduktivitas termal sebesar 0.69 W/mK. Pada bagian samping atau dinding juga menggunakan kaca. Semua material memiliki ketebalan yang sama sebesar 10 mm. Pada collector pasir besi menggunakan lapisan batas

sinar matahari berupa opaque yang terpapar sinar matahari dengan absorptivity sebesar 0.8. Pada bagian kaca menggunakan pemodelan dengan tipe semi transparan.

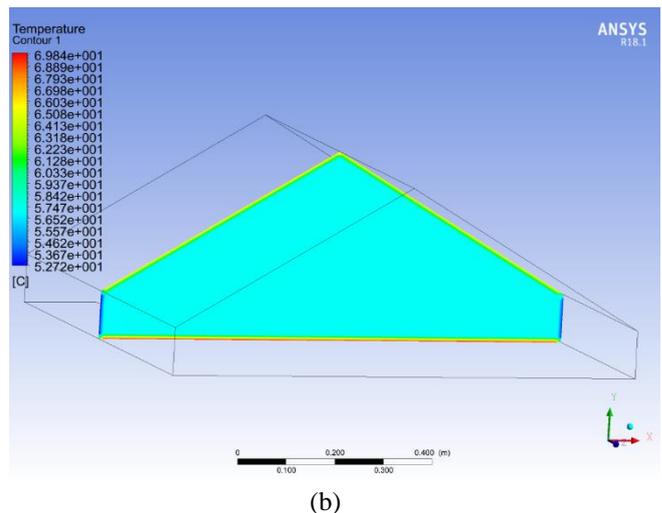
Untuk inialisasi dari pemodelan menggunakan metode standar. Pada lapisan batas perlu dilakukan adaptasi menggunakan tipe area. Setelah dilakukan adaptasi didapatkan jumlah cell sebanyak 42000 elemen dengan tipe hexahedron. Proses kalkulasi menggunakan iterasi dengan timestep 1 detik iterasi maksimal sebanyak 10 setiap timestep dan jumlah iterasi sebanyak 200.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan iterasi dan didapatkan solusi yang konvergen maka dapat didapatkan hasil yang cukup bagus jika dibandingkan dengan eksperimen.



(a)

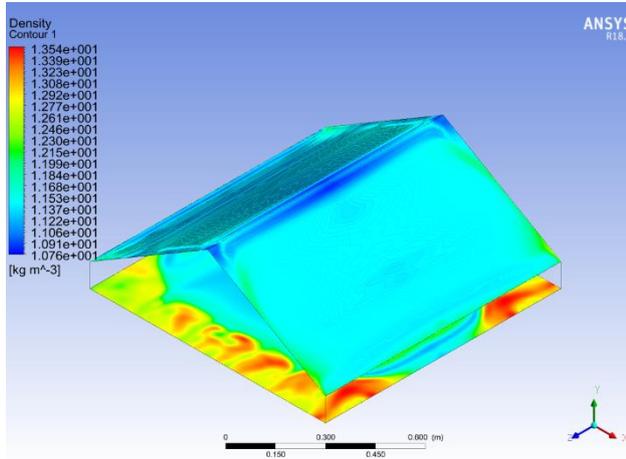


(b)

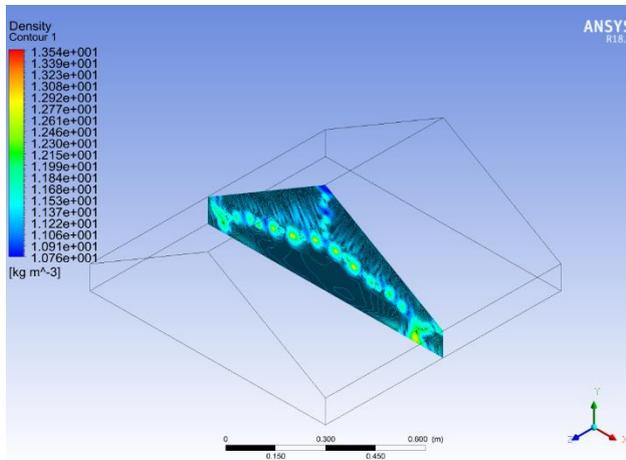
Gambar 2 (a) Kontur temperature pada kaca dan collector pasir besi (b) Kontur temperature pada irisan

Dari gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa temperature pada kaca penutup lebih kecil daripada temperature di kolektor. Hal ini disebabkan pada bagian kaca terjadi transmisivitas atau penyaluran panas matahari dan menembus hingga menuju collector. Temperatur pada kaca sekitar 65 °C dan temperature pada kolektor yang

menggunakan pasir besi lebih tinggi yaitu sekitar 69 °C. Pada bagian tepi kolektor terjadi penurunan temperature hal ini disebabkan faktor geometri. Dengan temperature pada kolektor lebih tinggi daripada pada bagian kaca proses penguapan dapat berjalan dengan maksimal. Penggunaan material kolektor dari pasir besi mampu menyimpan panas dan bisa menguapkan air dengan baik.



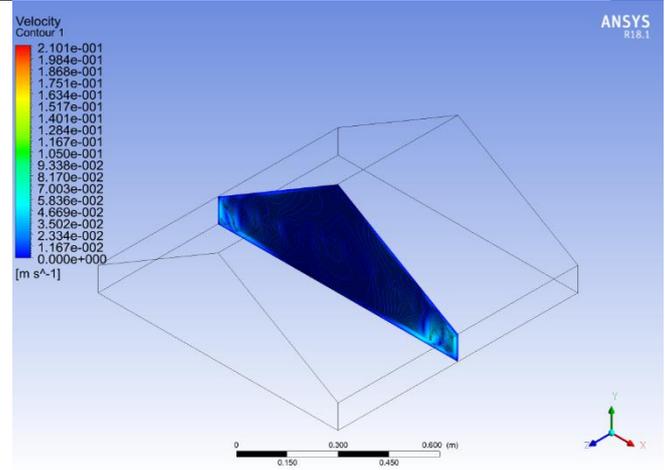
(a)



(b)

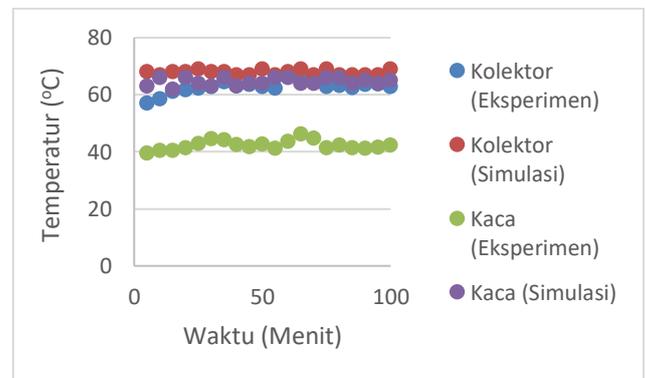
Gambar 3 (a) Kontur densitas pada kaca dan collector pasir besi (b) Kontur densitas pada irisan

Dari gambar 3 diatas dapat dilihat bahwa densitas di kaca lebih kecil daripada densitas di kolektor. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kaca terjadi proses penguapan karena densitas uap air lebih kecil daripada densitas air. Pada gambar 3 (a) dapat dilihat bagian pinggir dari kolektor densitas lebih tinggi daripada di bagian tengah. Hal ini sesuai dengan panas matahari yang masuk lebih banyak di bagian tengah. Nilai maksimum densitas pada kolektor dan kaca sebesar 13,5 kg/m³ dan nilai minimal adalah 10,75 kg/m³. Pada gambar 3 (b) dapat dilihat pembentukan uap air jika dilihat dari densitas, terlihat bahwa bagian tengah adalah fase tengah dimana pada bagian bawah adalah proses terjadi evaporasi dan bagian atas proses terjadinya kondensasi.



Gambar 4. Kontur kecepatan aliran pada irisan

Dari gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan aliran yang tinggi terjadi pada bagian pinggir, hal ini dikarenakan terjadi siklus aliran dimana uap air mengalir dari pinggir menuju ke tengah. Nilai kecepatan aliran tertinggi mencapai 2,1 m/s, kecepatan ini cukup cepat namun tidak semua aliran mencapai kecepatan ini jika dilihat dari gambar kecepatan aliran rata-rata sekitar 0,002 m/s. Kecepatan alir memang kecil karena proses solar still ini menggunakan perpindahan panas secara natural.



Gambar 5. Grafik perbandingan temperature kolektor dan kaca secara simulasi dan eksperimen

Dari gambar 5. diatas dapat dilihat temperature kolektor secara eksperimen dan temperature kolektor secara simulasi telah mencapai nilai yang mendekati. Sedangkan pada temperature kaca secara eksperimen dan temperature kaca secara simulasi masih ada sedikit perbedaan walaupun memiliki trend grafik yang sama. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa persentase perbedaan temperature antara eksperimen dengan simulasi untuk bagian kolektor sebesar 7 % dan persentase perbedaan temperature antara eksperimen dengan simulasi untuk bagian kaca penutup sebesar 34%. Hal ini dikarenakan permodelan sinar matahari secara radiasi (ray tracing) yang berbeda dengan keadaan saat dilakukan penelitian nyata. Pada saat pengambilan dilakukan pada saat musim penghujan sehingga menyebabkan data temperature kurang akurat.

4. KESIMPULAN

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model CFD dari Solar Still Double slope dan menggunakannya untuk peningkatan kinerja dengan menggunakan pasir besi sebagai kolektor. Perbedaan temperature antara eksperimen dengan simulasi untuk bagian kolektor sebesar 7 % dan persentase perbedaan temperature antara eksperimen dengan simulasi untuk bagian kaca penutup sebesar 34%. Secara umum kolektor menggunakan pasir besi mampu digunakan sebagai material penyimpan panas yang baik dan dapat meningkatkan laju penguapan air di dalam solar still.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Christanto, "Ruang Lingkup Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan," *Konserv. Sumber Daya ALam*, pp. 1–29, 2014.
- [2] H. Harlina, "Limnologi: Kajian Menyeluruh Mengenai Perairan Darat." Gunawana Lestari, 2020.
- [3] B. P. Asmara, "Pelatihan Pembuatan Desalinasi Air Laut Menjadi Air Tawar Menggunakan Metode Sarang Laba-Laba Untuk Masyarakat Dipesisir Pantai Desa Olele Kecamatan Kabila Bone Kabupaten Bone Bolango," *ARTIKEL*, vol. 1, no. 166, 2013.
- [4] N. 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, pp. 8–17, 2019, doi: 10.5937/jaes17-18090.
- [5] K. V. Kumar and R. K. Bai, "Performance study on solar still with enhanced condensation," vol. 230, pp. 51–61, 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.11.015.
- [6] S. Nazari, H. Safarzadeh, and M. Bahiraei, "Experimental and analytical investigations of productivity, energy and exergy efficiency of a single slope solar still enhanced with thermoelectric channel and nanofluid," *Renew. Energy*, pp. 729–744, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.12.059.
- [7] P. S. Goh and A. F. Ismail, "Graphene-based nanomaterial: The state-of-the-art material for cutting edge desalination technology," *Desalination*, vol. 356, pp. 115–128, 2015.
- [8] H. Jayakody, R. Al-Dadah, and S. Mahmoud, "Computational fluid dynamics investigation on indirect contact freeze desalination," *Desalination*, vol. 420, pp. 21–33, 2017.
- [9] N. Rahbar and J. A. Esfahani, "Estimation of convective heat transfer coefficient in a single-slope solar still: A numerical study," *Desalin. Water Treat.*, vol. 50, no. 1–3, pp. 387–396, 2012, doi: 10.1080/19443994.2012.720442.
- [10] C. R. Sonawane, H. N. Panchal, S. Hoseinzadeh, M. H. Ghasemi, A. J. Alrubaie, and A. Sohani, "Bibliometric Analysis of Solar Desalination Systems Powered by Solar Energy and CFD Modelled," *Energies*, vol. 15, no. 14, p. 5279, 2022.
- [11] H. Panchal, D. K. Patel, and P. Patel, "Theoretical and experimental performance analysis of sandstones and marble pieces as thermal energy storage materials inside solar stills," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 39, no. 3, pp. 221–229, Apr. 2018, doi: 10.1080/01430750.2017.1298059.
- [12] N. V Siva Sankaran and M. Sridharan, "Experimental research and performance study of double slope single basin solar distillation still using CFD techniques," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 3796–3803, 2022.
- [13] N. Suwandono, Purbo & Ismail, "Pengaruh Bentuk Permukaan Absorber Pelat Terhadap Produktivitas dan Efisiensi Solar Still," *JETM*, vol. 2, 2020.
- [14] W. Tian, X. Han, W. Zuo, and M. D. Sohn, "Building energy simulation coupled with CFD for indoor environment: A critical review and recent applications," *Energy Build.*, vol. 165, pp. 184–199, 2018.
- [15] H. N. Panchal and P. K. Shah, "Modeling and verification of hemispherical solar still using ANSYS CFD," *Int. J. Energy Environ.*, vol. 4, 2013.
- [16] N. Setoodeh, R. Rahimi, and A. Ameri, "Modeling and determination of heat transfer coefficient in a basin solar still using CFD," *Desalination*, vol. 268, no. 1–3, pp. 103–110, 2011.
- [17] N. R. Ismail, P. Suwandono, D. Hermawan, and F. D. Anggraeni, "Pemanfaatan dinding sebagai permukaan kondensasi untuk meningkatkan kinerja solar still double slope," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, 2023.

Halaman ini sengaja dikosongkan