

Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) Penambahan Internal Reflektor Pada *Solar Still Double Slope*

Rendra Adi Wijaya¹⁾, Nova Risdiyanto Ismail^{2*)}, Purbo Suwandono³⁾

^{1,2,3,4)}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

E-mail: ^{2*)} nova@widyagama.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas kebutuhan esensial akan air bersih dalam menghadapi krisis air bersih yang disebabkan oleh terbatasnya sumber air tawar dan peningkatan populasi. Proses penyaringan air menjadi solusi utama, dengan desalinasi sebagai metode utama menggunakan energi matahari. Studi ini meneliti penggunaan internal reflektor pada solar still double slope untuk meningkatkan produktivitas air tawar dan efisiensi. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk menganalisis perpindahan panas dan aliran fluida dalam sistem tersebut. Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputer, Teknik Mesin, Universitas Widyagama Malang, dengan variasi solar still standart/solar still tanpa reflektor dan solar still dengan penambahan internal refelektor (reflektor utara, reflektor selatan dan double reflektor/reflektor utara-selatan). Analisis CFD dapat dioptimalkan untuk meningkatkan produksi air dengan memeriksa pola distribusi temperatur pada solar still. Pemodelan solar still menggunakan aliran multiphase dengan tiga fase (udara, air, dan uap air). Simulasi ini akan fokus pada temperatur, massa jenis uap, dan kecepatan aliran fluida. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan internal reflektor meningkatkan transmisi energi matahari ke pelat penyerap, menghasilkan peningkatan penguapan air dan produksi uap air. Validasi simulasi dengan data eksperimen mengonfirmasi kinerja yang memuaskan. Dengan demikian, penelitian ini menyoroti potensi peningkatan efisiensi solar still dalam memproduksi air bersih menggunakan energi matahari.

Kata Kunci: *Computational Fluid Dynamics* (CFD); desalinasi; internal reflektor; produktivitas air bersih; *solar still*.

Abstract

This research addresses the essential need for clean water in the face of a clean water crisis caused by limited freshwater resources and an increasing population. Water filtration is the main solution, with desalination as the main method using solar energy. This study examines the use of internal reflectors on a double slope solar still to improve freshwater productivity and efficiency. Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation was used to analyze heat transfer and fluid flow in the system. The research was conducted at the Computer Laboratory, Mechanical Engineering, Widyagama University Malang, with variations of standard solar still/solar still without reflector and solar still with the addition of internal reflector (north reflector, south reflector and double reflector/north-south reflector). CFD analysis can be optimized to increase water production by examining the temperature distribution pattern of the solar still. The modeling of the solar still uses multiphase flow with three phases (air, water and water vapor). This simulation will focus on temperature, vapor density, and fluid flow velocity. Simulation results show that the addition of an internal reflector increases the transmission of solar energy to the absorber plate, resulting in increased water evaporation and water vapor production. Validation of simulations with experimental

data confirmed satisfactory performance. Thus, this study highlights the potential for improving the efficiency of solar stills in producing clean water using solar energy.

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD); desalination; internal reflector; clean water productivity; solar still

1. PENDAHULUAN

Air merupakan unsur vital bagi semua makhluk hidup, termasuk manusia. Sumber air utama terdapat di lautan, mencapai 97%, sementara sisanya merupakan air tawar yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Ketersediaan air bersih menjadi kebutuhan esensial manusia, namun terbatasnya jumlah air dan peningkatan populasi menyebabkan krisis air bersih. Kontaminasi air tawar juga memengaruhi kualitasnya. Untuk mengatasi masalah ini, peningkatan kualitas dan kuantitas air bersih dapat dilakukan melalui proses penyaringan air [1], [2].

Air laut dapat diubah menjadi air tawar dengan metode desalinasi, yaitu proses penguapan menggunakan tenaga matahari [3]. Peneliti sebelumnya menyatakan bahwa desalinasi berbasis energi matahari adalah inovasi paling efektif, praktis, dan ramah lingkungan [4]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, hasil air tawar dari desalinasi berbasis matahari menggunakan *solar still* cenderung rendah [5]. Desalinasi tenaga surya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti laju aliran massa air, kedalaman air, intensitas matahari, sirkulasi alami atau paksa, karakteristik kolektor, kecepatan angin, bahan penutup kaca, isolasi, dan faktor kehilangan panas dari kolektor [6].

Berbagai macam model kaca penutup pada *solar still*, yaitu *single slope*, *double slope* dan piramida [7][8][9]. Sistem *solar still* miring ganda (*double slope*) menghasilkan produktivitas lebih tinggi dibandingkan *solar still* berbentuk piramida [9]. Menggunakan reflektor dalam sistem *solar still* dapat meningkatkan energi radiasi sehingga meningkatkan produktivitas [10][11][12].

Seiring perkembangan teknologi telah mengembangkan model CFD pada *solar still* untuk meningkatkan kinerja dengan analisis parametrik *multi-fase* [13]. Studi simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berdasarkan eksperimen diharapkan mampu menganalisa fenomena distribusi temperatur, densitas dan *velocity*, sehingga dapat membantu memahami perilaku aliran fluida, mengurangi waktu dan biaya pengembangan serta perbaikan sistem [14][15].

Penambahan reflektor diharapkan dapat meningkatkan energi matahari yang diterima oleh pelat penyerap, yang selanjutnya dapat meningkatkan pemanasan air menjadi uap air dan produktivitas air tawar serta efisiensi *solar still*. Simulasi CFD diperlukan untuk menganalisis perpindahan panas dan aliran fluida pada sistem *solar still* tipe *double slope* dengan penambahan internal reflektor.

2. METODE PENELITIAN

a. Waktu dan Tempat Penelitian

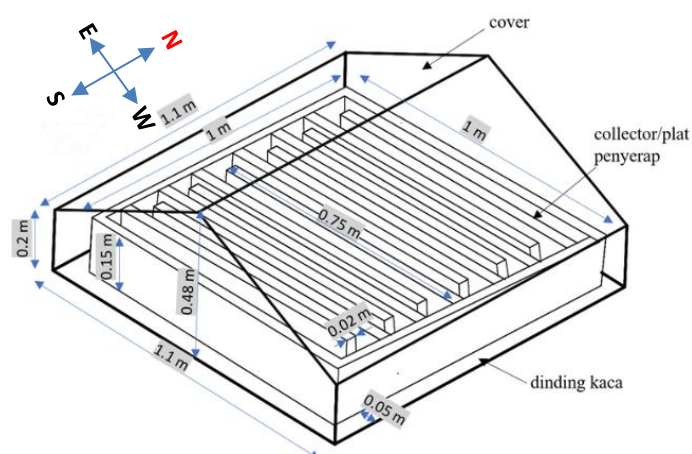
Penelitian dan Pengambilan data dilakukan pada Laboratorium Komputer, Teknik Mesin, Kampus III Universitas Widyagama Malang. Waktu Penelitian dimulai pada bulan September 2023 sampai dengan November 2023.

b. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode numerik. Adapun variabel yang ada di dalamnya adalah sebagai berikut:

- 1) Variabel bebas adalah internal reflektor [*Solar Still Double Slope Standart* (SSDS-S), *Solar Still Double Slope North Reflector* (SSDS-NR), *Solar Still Double Slope South Reflector* (SSDS-SR), dan *Solar Still Double Slope Double Reflector* (SSDS-DR)].
- 2) Variabel terikat adalah distribusi temperatur, densitas, dan *velocity*.
- 3) Variabel terkontrol adalah permodelan radiasi matahari menggunakan tipe *Rosseland* dengan *solar ray tracing*, posisi *latitude* -7.983908 dan *longitude* 112.621391 serta *timezone* GMT +7.

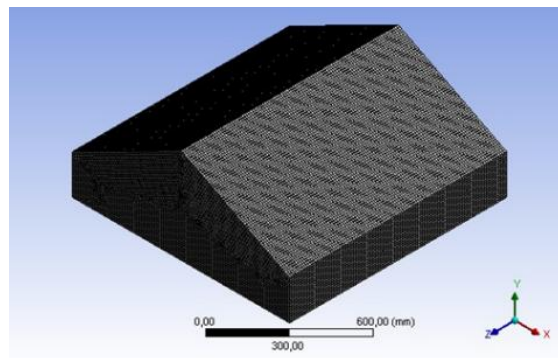
c. Dimensi Ukuran *Solar Still Double Slope*



Gambar 1. Dimensi Ukuran *Solar Still Double Slope*

d. Konfigurasi Simulasi/Pemodelan Simulasi CFD

Data penelitian ini diperoleh melalui simulasi CFD menggunakan *Desain Modeler* dengan ukuran dimensi 1,1 m x 1,1 m x 0,2 m x 0,48 m. *Mesh* yang digunakan memiliki ukuran 10 mm dan terdiri dari 4300 sel berbentuk *hexahedron*.



Gambar 2. *Geometry Mesh Solar Still Double Slope*

Simulasi dilakukan secara *transient* menggunakan aliran *multiphase* (udara, air, dan uap air) dengan model viskositas *k-epsilon* tipe RNG. Perubahan fase cair-ke-uap air dan sebaliknya diatur menggunakan model *evaporation-condensation*. Radiasi matahari menggunakan tipe *Rosseland* dengan *solar ray tracing* dari *solar calculator*, di lokasi Kota Malang (*latitude* -7.983908, *longitude* 112.621391, GMT +7). Simulasi disesuaikan dengan tanggal pengambilan data eksperimen (29 - 31 Agustus, 1 dan 3 September) dan dijalankan setiap jam 12.00 WIB.

Fluida uap air dianggap sebagai *incompressible ideal gas*, sementara fluida cair menggunakan tipe *piecewise-linear-profile*. Penelitian ini menggunakan 3 material solid: kaca, mortar (campuran semen dengan pasir besi), dan cermin. Bagian atas dan dinding *solar still* terbuat dari kaca dengan densitas 2500 kg/m³, panas spesifik 750 J/kgK, dan konduktivitas termal 1.15 W/mK. Bagian dasar dari *solar still* menggunakan material pasir besi dengan densitas 2972 kg/m³, panas spesifik 820 J/kgK, dan konduktivitas termal 0.69 W/mK. Variasi penambahan cermin sebagai reflektor memiliki densitas 2500 kg/m³, panas spesifik 840 J/kgK, dan konduktivitas termal 0.8 W/mK.

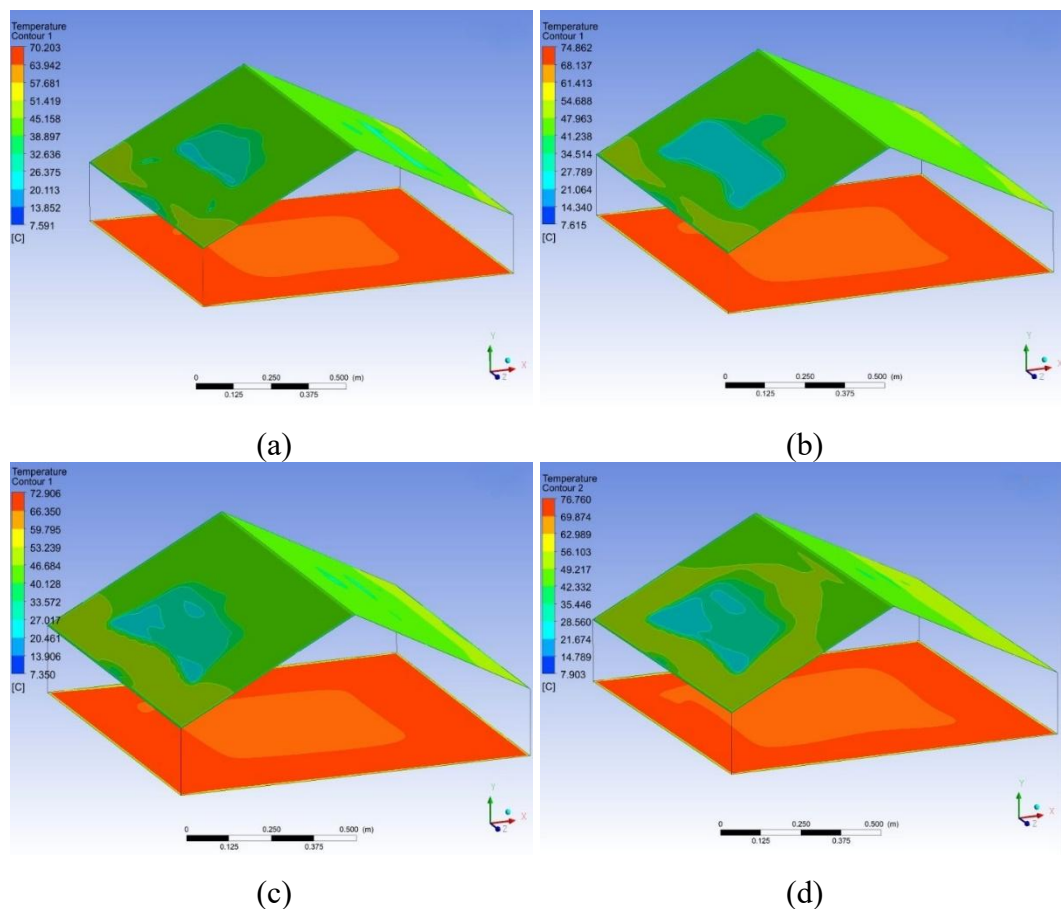
Pada bagian kaca, terdapat lapisan batas sinar matahari *semi-transparent*, sementara pada *collector* terdapat lapisan batas matahari yang opak. Pemodelan diinisialisasi menggunakan tipe *standard*, dan lapisan batas kemudian diadaptasi menggunakan tipe *area*. Setelah adaptasi, terdapat 4300 elemen *hexahedron*. Proses

kalkulasi melibatkan iterasi dengan *timestep* 1 detik, maksimal 200 iterasi per *timestep*, dan 1 kali langkah waktu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan iterasi, dan solusi konvergen dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan hasil eksperimen.

a. Distribusi Temperatur



Gambar 3. *Contour* Temperatur (a) SSDS-S, (b) SSDS-NR, (c) SSDS-SR, (d) SSDS-DR

Contour temperatur hasil simulasi pada Gambar 3. menunjukkan bahwa distribusi temperatur di tepi pelat penyerap lebih tinggi daripada di bagian tengahnya. Perbedaan ini disebabkan oleh pemodelan lapisan batas matahari yang berupa *opaque* dan ketiadaan pemodelan *solar ray tracing* pada dinding samping *solar still*. Pemodelan material tersebut membuat udara panas terperangkap lebih lama di tepi. Dalam bentuk geometri *solar still double slope*, evaporasi membawa udara panas dari bagian bawah atau sisi-sisi pelat, yang cenderung berkumpul di

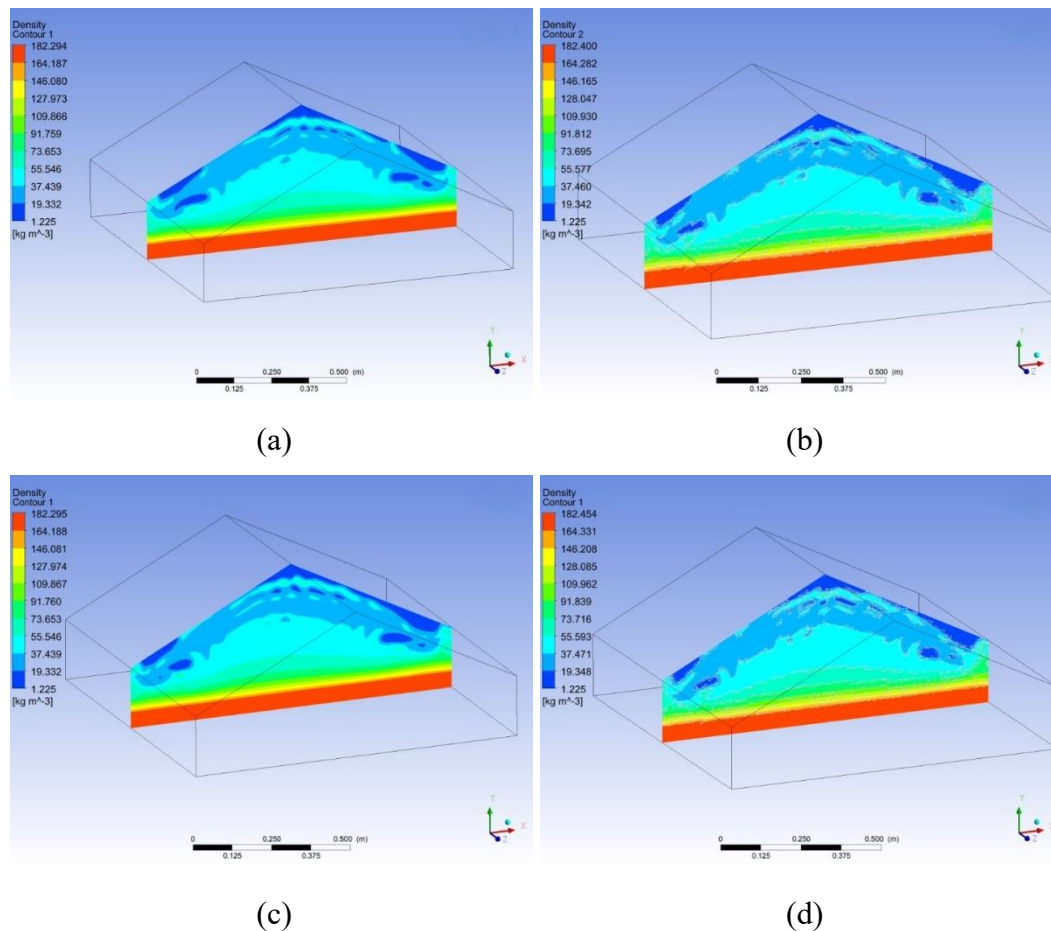
bagian atas, menyebabkan penurunan temperatur di tengah. Pola sirkulasi udara terjadi di dalam *solar still* karena udara panas naik ke atas. Bagian tengah kaca dapat menerima udara yang lebih dingin karena udara panas naik ke atas, sementara bagian tepi kaca memiliki kontak langsung dengan pelat penyerap yang lebih panas, sehingga menghasilkan peningkatan temperatur di tepi kaca.

Pada Gambar 3, *solar still* dengan penambahan internal reflektor, SSDS-DR, mencapai temperatur pelat penyerap tertinggi sekitar $76,76^{\circ}\text{C}$, sementara SSDS-S mencapai nilai lebih rendah sekitar $70,2^{\circ}\text{C}$. Penggunaan SSDS-DR dapat lebih meningkatkan energi radiasi matahari yang di terima pelat penyerap, sehingga energi untuk proses penguapan menjadi lebih besar. Penguapan yang lebih besar dapat meningkatkan produktivitas *solar still*.

b. Distribusi Densitas

Energi matahari mengakibatkan penguapan air di bagian bawah *cover*, menghasilkan uap air yang naik. Saat uap air mencapai bagian atas dengan temperatur lebih rendah, terjadi kondensasi dan uap air berubah menjadi air bersih. Densitas tertinggi umumnya terjadi di bagian bawah *cover*, seperti yang terlihat pada Gambar 4, hasil simulasi menunjukkan bahwa densitas tertinggi pada *solar still double slope* terkonsentrasi di tempat di mana air terkumpul, memastikan optimalitas proses penguapan-kondensasi.

Pada Gambar 4, densitas uap air dan air tertinggi terdapat pada SSDS-DR, dengan nilai densitas mencapai $18,2454 \text{ kg/m}^3$, sementara densitas tertinggi yang dimiliki oleh SSDS-S mencapai $18,2294 \text{ kg/m}^3$. Perbandingan nilai densitas uap air dan air ini menunjukkan bahwa penambahan internal reflektor pada *solar still* meningkatkan transmisi energi radiasi matahari ke pelat penyerap, mempercepat proses penguapan air, dan meningkatkan produksi uap air, sehingga densitas uap air dan air di dalam *solar still* meningkat.

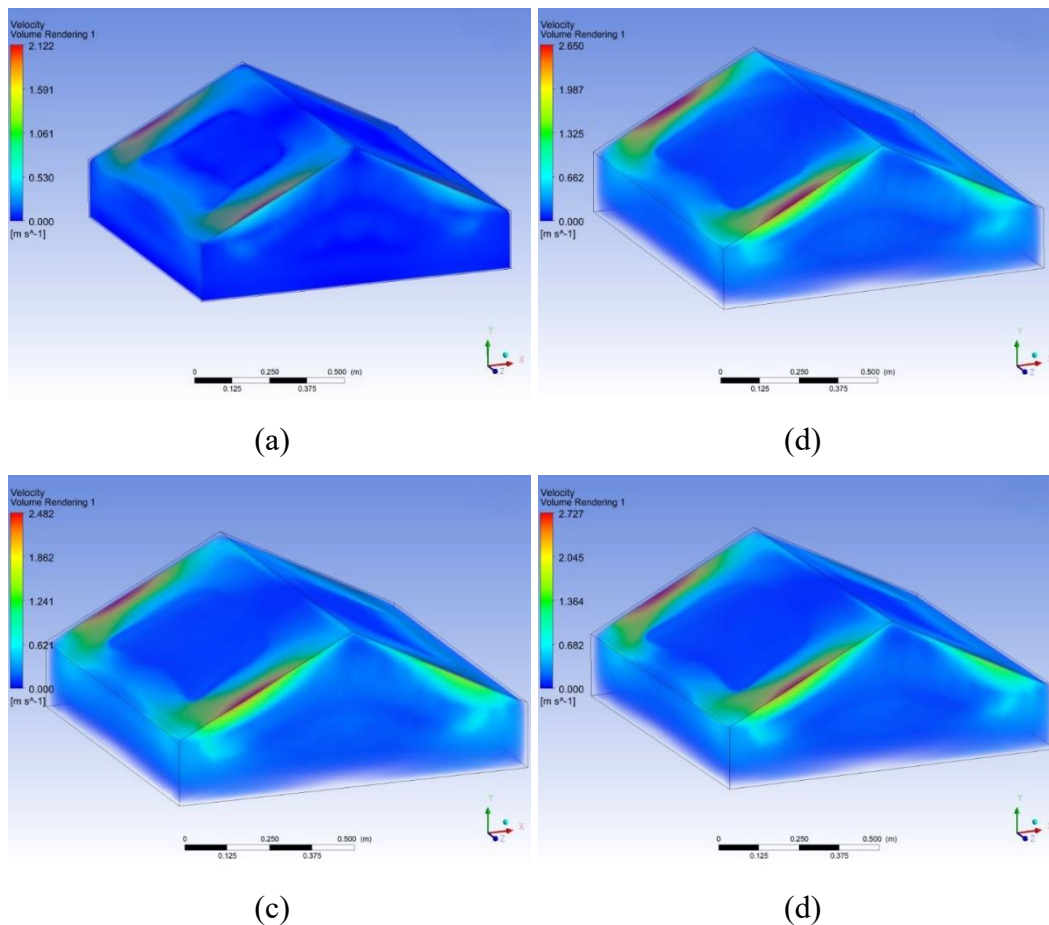


Gambar 4. *Contour* Densitas (a) SSDS-S, (b) SSDS-NR, (c) SSDS-SR, (d) SSDS-DR

c. Distribusi *Velocity*

Kecepatan (*Velocity*) tertinggi terjadi di bagian atas atau puncak struktur, terutama di area terkena sinar matahari langsung. Simulasi menunjukkan perbedaan warna kontur yang menandakan lokasi nilai kecepatan tertinggi pada *cover* kaca yang terpapar langsung sinar matahari. Perbedaan temperatur antara bagian atas dan bawah struktur dapat menciptakan gradien tekanan yang menghasilkan aliran udara konvektif.

Simulasi juga menunjukkan peningkatan kecepatan dengan penambahan cermin sebagai reflektor, terutama pada kecepatan uap air dari proses evaporasi yang dihasilkan oleh air di pelat penyerap. Luas cermin yang lebih besar menghasilkan penguapan air yang lebih besar, terlihat pada nilai kecepatan tertinggi SSDS-DR yang mencapai 2.727 m/s, dibandingkan dengan kecepatan tertinggi SSDS-S sekitar 2,122 m/s.

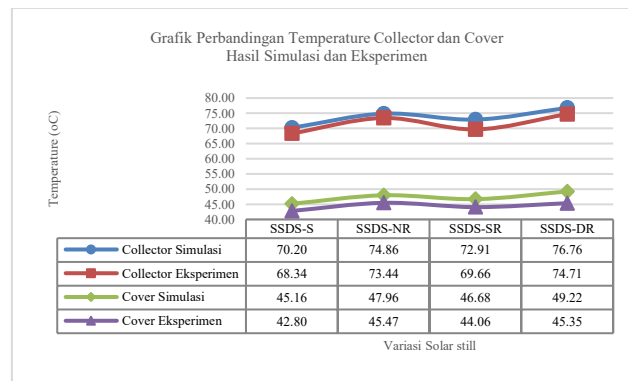


Gambar 5. *Contour Velocity* (a) SSDS-S, (b) SSDS-NR, (c) SSDS-SR, (d) SSDS-DR

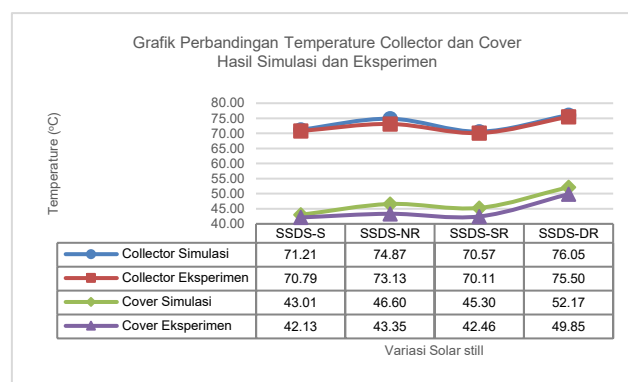
d. Pembahasan Hasil Simulasi

Simulasi menemukan bahwa penambahan internal reflektor pada *solar still* meningkatkan radiasi yang diterima oleh permukaan penguapan, yang mengakibatkan peningkatan temperatur dan laju penguapan dalam sistem. Distribusi temperatur pada permukaan penguapan meningkat secara signifikan di daerah yang terkena radiasi langsung dari reflektor, yang juga mempengaruhi distribusi uap air di dalam *solar still*. Selain itu, efisiensi penguapan secara keseluruhan meningkat sebesar 5%-15% dengan penambahan internal reflektor, menunjukkan dampak signifikan terhadap kinerja *solar still*.

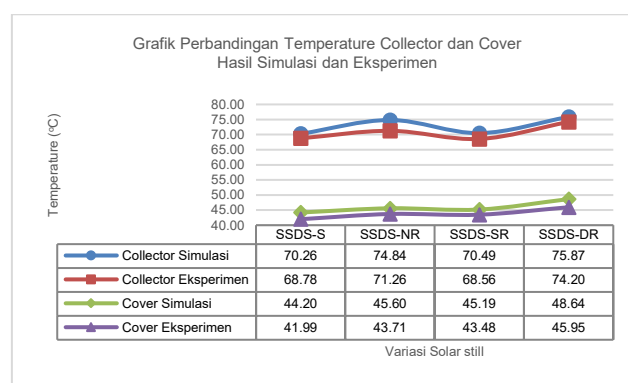
Validasi simulasi terfokus pada distribusi temperatur sebagai parameter kunci dalam kinerja *solar still*. Pembahasan berikut mencakup validasi simulasi terhadap data eksperimen berdasarkan distribusi temperatur.



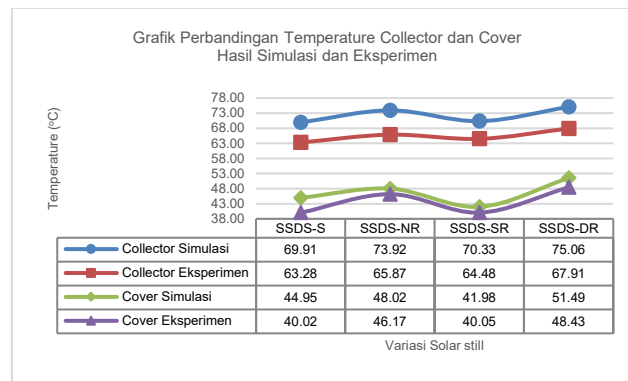
Gambar 6. Perbandingan Temperatur *Collector* dan *Cover* Hasil Simulasi dan Eksperimen (29 Agustus)



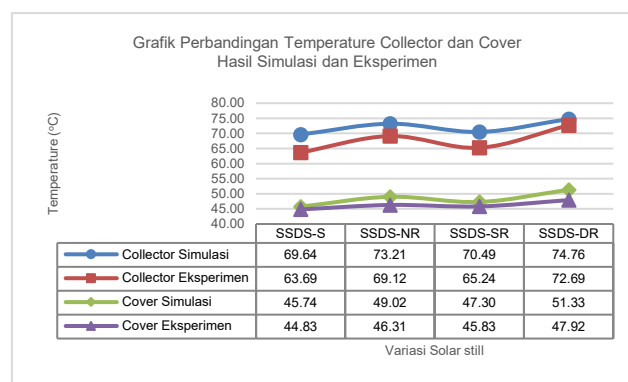
Gambar 7. Perbandingan Temperatur *Collector* dan *Cover* Hasil Simulasi dan Eksperimen (30 Agustus)



Gambar 8. Perbandingan Temperatur *Collector* dan *Cover* Hasil Simulasi dan Eksperimen (31 Agustus)



Gambar 9. Perbandingan Temperatur *Collector* dan *Cover* Hasil Simulasi dan Eksperimen (1 September)



Gambar 10. Perbandingan Temperatur *Collector* dan *Cover* Hasil Simulasi dan Eksperimen (3 September)

Dari Gambar 6-10 di atas terlihat bahwa temperatur *collector*, baik dalam simulasi maupun eksperimen, telah mendekati nilai yang serupa. Sementara itu, meskipun terdapat sedikit perbedaan pada temperatur *cover*, pola grafik menunjukkan trend grafik yang serupa. Perhitungan menunjukkan bahwa perbedaan persentase temperatur antara simulasi dan eksperimen pada bagian kolektor mencapai 7.46%, sedangkan pada bagian kaca penutup mencapai 4.12%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan dalam model sinar matahari, khususnya dalam teknik radiasi (*ray tracing*), yang digunakan dalam simulasi dibandingkan dengan kondisi yang terjadi dalam penelitian aktual.

Penambahan internal reflektor pada *solar still* dapat meningkatkan energi radiasi matahari yang diterima oleh pelat penyerap, sehingga meningkatkan produktivitas air tawar dan efisiensi *solar still*. Pada simulasi yang dimulai setiap jam 12.00 WIB, SSDS-DR mencapai temperatur tertinggi pada pelat penyerap dari

setiap variasi *solar still*, hal ini dikarenakan faktor luasan internal reflektor yang lebih besar. Sementara itu pada SSDS-NR, temperatur pelat penyerap lebih tinggi daripada SSDS-SR karena faktor orientasi matahari dan letak geografis kota Malang.

4. SIMPULAN

Penambahan internal reflektor pada *solar still* meningkatkan transmisi energi matahari ke pelat penyerap dan mengoptimalkan proses penguapan air, hasil simulasi menunjukkan peningkatan nilai *velocity* uap air yang berkorelasi dengan luasan cermin, serta hasil analisis dari perbedaan persentase temperatur antara simulasi dan eksperimen pada bagian pelat penyerap sebesar 7.46% dan pada bagaian kaca penutup sebesar 4.12%. Secara keseluruhan, penambahan internal reflektor pada *solar still* mengindikasikan potensi peningkatan efisiensi penguapan air dan kinerja keseluruhan sistem.

5. SARAN atau 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.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Wicaksono, T. Iduwin, D. Mayasari, P. S. Putri, and T. Yuhana, "Edukasi Alat Penjernih Air Sederhana Sebagai Upaya Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih," *Terang*, vol. 2, no. 1, pp. 43–52, 2019, doi: 10.33322/terang.v2i1.536.
- [2] L. Sahota and G. N. Tiwari, "Review on series connected photovoltaic thermal (PVT) systems: Analytical and experimental studies," *Sol. Energy*, vol. 150, pp. 96–127, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.04.023.
- [3] G. H. Cahyana, "Integrasi Pengelolaan Air Minum dan Air Limbah," 2023.
- [4] D. B. Singh and G. N. Tiwari, "Effect of energy matrices on life cycle cost analysis of partially covered photovoltaic compound parabolic concentrator collector active solar distillation system," *Desalination*, vol. 397, pp. 75–91, 2016, doi: 10.1016/j.desal.2016.06.021.
- [5] P. Suwandono, N. R. Ismail, D. Hermawan, and F. D. Anggraeni, "Simulasi CFD pada Solar Still Double Slope dengan Kolektor Pasir Besi," *JETM*, vol. 06, no. 01, pp. 01–06, 2023.

- [6] R. Sathyamurthy *et al.*, “A Review of integrating solar collectors to solar still,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. November, pp. 1069–1097, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.223.
- [7] N. R. Ismail, D. Hermawan, P. Suwandono, and L. H. Wicaksono, “Investigation of Performance of Stone Fin Solar Still Absorber by Water Depth Variations,” vol. 12, no. August, pp. 159–170, 2023, doi: 10.13170/aijst.12.2.27188.
- [8] 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, pp. 1–9, 2023.
- [9] M. Ridwan, N. R. Ismail, and D. Hermawan, “Pengaruh Kaca Penutup Double Slope dengan Piramida Menggunakan Pelat Penyerap Sirip terhadap Kinerja Solar Still,” vol. 6, no. 2, pp. 107–116, 2023.
- [10] M. Afrand, R. Kalbasi, A. Karimipour, and S. Wongwises, “Experimental investigation on a thermal model for a basin solar still with an external reflector,” *Energies*, vol. 10, no. 1, pp. 1–16, 2017, doi: 10.3390/en10010018.
- [11] K. M. Bataineh and M. A. Abbas, “Performance analysis of solar still integrated with internal reflectors and fins,” *Sol. Energy*, vol. 205, no. February, pp. 22–36, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.04.059.
- [12] Z. M. Omara, A. E. Kabeel, and A. S. Abdullah, “A review of solar still performance with reflectors,” *Z.M. Omaraa A.E. Kabeelb A.S. Abdullah*, vol. 68, no. October 2016, pp. 638–649, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.10.031.
- [13] V. R. Khare, A. P. Singh, H. Kumar, and R. Khatri, “Modelling and Performance Enhancement of Single Slope Solar Still Using CFD,” *Energy Procedia*, vol. 109, no. November 2016, pp. 447–455, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.064.
- [14] M. A. Mahdi and A. Smaili, “Numerical investigations of the thermal behavior of a HAWT nacelle using ANSYS FLUENT,” *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 394–398, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.049.
- [15] M. Flores, S. Chávez, H. Terres, A. Lizardi, and A. Lara, “Thermal analysis of a solar still through CFD Thermal analysis of a solar still through CFD,” *Conf. Ser.*, pp. 1–6, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2307/1/012008.