

Penggunaan Persamaan Avrami Untuk Menentukan Koefisien Konveksi Solar Still

Dan Mugisidi

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA

Alamat : Jalan Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Ps. Rebo, Jakarta Timur. Telp. (021)840094 Fax. (021)87782739

Website : www.ft.uhamka.ac.id E-mail : dan.mugisidi@uhamka.ac.id

Abstrak

Pengolahan air laut menjadi air tawar terus diteliti untuk mendapat cara yang optimum, salah satunya dengan menggunakan solar still. Solar still memiliki prinsip kerja yang sederhana dan mudah tetapi penjelasan mekanisme perpindahan panas yang terjadi di dalamnya sama sekali tidak sederhana. Seperti untuk menentukan koefisien konveksi di dalam solar still membutuhkan perhitungan yang panjang dengan data yang tidak sedikit. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini untuk menghitung koefisien konveksi solar still dengan menggunakan persamaan Avrami yang sering digunakan untuk menjelaskan mekanisme pada perubahan fasa. Hasil perhitungan berdasarkan hasil penelitian atau koefisien konveksi aktual akan dibandingkan dengan koefisien konveksi mengetahui efisiensi termal dan efektivitas produksi kondensor pada solar still. Penelitian dilakukan di Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA periode Maret - Mei 2021. Material yang digunakan yaitu aluminium dengan panjang 300 mm, lebar 300 mm dan tebal 1,6 mm untuk pelat basin, kaca ganda dengan tebal 3 mm untuk penutup atas dan samping solar still. Penelitian dilakukan dalam ruangan dengan intensitas radiasi menggunakan lampu halogen. Variabel yang diukur berupa temperatur air, evaporasi, permukaan kaca dalam, kondensor, saluran masuk dan keluar pendingin kondensor dengan menggunakan fluke meter, intensitas radiasi menggunakan solar power meter dan air hasil desalinasi dengan neraca digital. Dari hasil penelitian menunjukkan rata-rata efisiensi termal kondensor pada solar still mencapai 83,94% dan massa desalinasi air laut mencapai 451,32 gram dengan efektivitas produksi kondensor sebesar 96,4% serta nilai korelasi 0,99.

Kata kunci: solar, still, kondensor, efisiensi, efektivitas

Abstract

The processing of seawater into freshwater continues to be researched to obtain the optimum method, one of which is using solar still. Solar still has a simple and easy working principle, but the explanation of the heat transfer mechanism in it is not simple. To determine the convection coefficient in the solar still requires a long calculation with many data. Therefore, the purpose of this study is to calculate the convection coefficient of solar stills using the Avrami equation, which is often used to explain the mechanism of phase change. The calculation results based on research results or the actual convection coefficient will be compared with the convection coefficient to determine condenser production's thermal efficiency and effectiveness on solar stills. The research was conducted at the Faculty of Engineering, University of Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA period March-May 2021. The materials used are aluminium with a length of 300 mm, a width of 300 mm and a thickness of 1.6 mm for the basin plate, double glass with a thickness of 3 mm for the top and sides of the solar still. The study was conducted in a room with radiation intensity using halogen lamps. The variables measured were water temperature, evaporation, inner glass surface, condenser, inlet and outlet of the condenser cooler using a fluke meter, radiation intensity using a solar power meter and desalinated water using a digital balance. From the study results, the average thermal efficiency of the condenser on the solar still reached 83.94%. The desalination mass of seawater reached 451.32 grams with the effectiveness of condenser production of 96.4% the correlation value of 0.99.

Keyword: solar, still, condenser, efficiency, effectiveness

1 PENDAHULUAN

Manusia menggunakan air bersih untuk berbagai macam kebutuhan seperti pertanian,

transportasi, produksi energi, proses industri, pembuangan limbah, ekstraksi ikan dan produk

lainnya [1]. Meskipun berbagai teknologi telah dibuat untuk memasok air bersih, krisis air

bersih masih terus terjadi [2] apalagi untuk memenuhi kebutuhan sekitar 9.7 miliar manusia pada tahun 2050 [3]. Sayangnya air bersih yang tersedia hanya 2.5% dari air yang ada dipermukaan bumi dan sisanya adalah air laut. Oleh karena itu air laut harus dimanfaatkan sebagai bahan baku air bersih [4] yang salah satu caranya menggunakan *solar still*.

Solar still adalah alat sederhana yang digunakan untuk menguapkan air di dalamnya dan mengembunkan dengan kondenser yang juga menjadi kaca penutupnya sehingga menghasilkan tetesan air yang dialirkan menuju penampungan air bersih [5]. Sumber panas yang digunakan oleh *solar still* adalah radiasi matahari. Meskipun cara kerja *solar still* sederhana tetapi proses perpindahan panas yang terjadi di dalamnya kompleks [6]. Untuk memperoleh koefisien konveksi di dalam *solar still* dan pemodelannya memerlukan prosedur perhitungan yang panjang dengan data yang tidak sedikit. Kurva akumulasi yang diperoleh dari pengujian *solar still* membentuk kurva yang berbentuk S mirip dengan kurva perubahan kinetik sehingga pendekatan yang dapat digunakan adalah persamaan Avrami. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan koefisien konveksi *solar still* berdasarkan perbedaan temperatur menggunakan prosedur yang di kembangkan oleh Johnson-Mehl-Avrami atau yang dikenal dengan persamaan Avrami.

2 DASAR TEORI

2.1 Solar Still

Pada dasarnya desalinasi air laut merupakan proses untuk menghilangkan kadar garam berlebih di dalam air sehingga air tersebut dapat dikonsumsi manusia. Alat yang dapat digunakan untuk mengubah air laut menjadi air bersih adalah *solar still*. Di dalam *solar still*, panas terabsorpsi oleh air sehingga terjadi peningkatan temperatur. Peningkatan temperatur membuat molekul air menguap sehingga terjadi perpindahan panas konveksi. Ketika uap tersebut bersentuhan dengan suatu permukaan yang memiliki temperatur lebih rendah maka terjadi proses kondensasi [7].

Secara umum terdapat dua jenis *solar still*, yaitu *active solar still* dan *passive solar still* [8]. Pada *active solar still* terintegrasi dengan kolektor sedangkan *passive solar still* tidak

terdapat kolektor sehingga hanya memiliki masukan eksergi dari panas [9].

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas internal didalam *solar still* hubungannya terkait dengan evaporasi [7] dan perpindahan panas konveksi terjadi diantara permukaan air di *basin* dengan permukaan kaca bagian dalam melalui uap karena perbedaan tekanan [10].

$$q_{c,w-gi} = h_{c,w-gi} (T_w - T_{gi}) \quad (1)$$

Nilai $h_{c,w-gi}$ dapat ditentukan dengan persamaan [11]

$$h_{c,w-gi} = \frac{K_f}{d_f} C (Gr Pr)^n \quad (2)$$

Nilai K_f ditentukan dengan persamaan [12]

$$K_f = 0,0244 + 0,00007673 T_w \quad (3)$$

Sedangkan perpindahan panas evaporasi terjadi antara uap air dengan permukaan air [7].

$$q_{e,w-gi} = h_{e,w-gi} (T_w - T_{gi}) \quad (4)$$

Nilai $h_{e,w-gi}$ sebagai koefisien perpindahan panas evaporasi dihitung dengan persamaan [13]

$$h_{e,w-gi} = 16,237 \times 10^{-3} h_{c,w-gi} \frac{(P_w - P_{gi})}{(T_w - T_{gi})} \quad (5)$$

Nilai P_w dan P_{gi} ditentukan dengan persamaan [14]

$$P_w = \exp \left(\frac{25,317 - \frac{5144}{T_w + 273}}{T_w + 273} \right) \quad (6)$$

$$P_{gi} = \exp \left(\frac{25,317 - \frac{5144}{T_{gi} + 273}}{T_{gi} + 273} \right) \quad (7)$$

Hasil desalinasi *solar still* per jam dapat dihitung dengan persamaan [14], [15].

$$m_w = \frac{h_{e,w-gi} (T_w - T_{gi})}{h_{fg}} \times 3600 \quad (8)$$

Untuk nilai panas laten dari penguapan air (h_{fg}) ditentukan dengan persamaan [6].

$$h_{fg} = 2,4935 \times 10^6 \left[1 - 9,4779 \times 10^{-4} T_w + 1,3132 \times 10^{-7} T_w^2 + 4,7974 \times 10^{-9} T_w^3 \right] \quad (9)$$

2.3 Bilangan Tak Berdimensi

Untuk menentukan bilangan Nusselt pada *solar still*, menggunakan persamaan [11].

$$N_u = \frac{h_{c,w-gi} d_f}{k_f} \quad (10)$$

Atau

$$N_u = C(Ra)^n \quad (11)$$

Bilangan Grashof dan Prandtl ditentukan dengan persamaan

$$Gr = \frac{\beta g d_f^3 \rho^2 (\Delta T)}{\mu^2} \quad (12)$$

$$\Delta T = \left\{ (T_w - T_{gi}) + \frac{[P_w - P_{gi}] [T_w + 273,15]}{268900 - P_w} \right\} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{1}{T_w + 273,15} \quad (17)$$

$$\rho = \frac{353,44}{T_w + 273,15} \quad (18)$$

Selanjutnya menentukan bilangan Rayleigh dengan persamaan [16]

$$Ra = Gr Pr \quad (19)$$

2.4 Persamaan Avrami

Pada awalnya persamaan Avrami dipergunakan untuk mendeskripsikan kinetika yang terjadi dari fasa padat menjadi fasa cair atau dari satu fasa berubah bentuk menjadi fasa yang lain [17]–[19].

Persamaan Avrami adalah

$$1 - Y = EXP(-Kt^n) \quad (20)$$

Persamaan di atas dapat dilinierkan menjadi:

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-Y} \right) \right] = n \ln nt + \ln K \quad (21)$$

Pada penelitian ini Y adalah koefisien konveksi yang dihitung sedangkan t adalah selisih temperatur antara temperatur air dan temperatur kondensor. Nilai K adalah konstanta avrami sedangkan n dapat dihubungkan dengan mekanisme perubahan [20]

3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui

$$Pr = \frac{\mu c_p}{K_f} \quad (14)$$

Untuk melengkapi variabel yang dibutuhkan dalam menentukan bilangan Grashof dan Prandtl menggunakan persamaan [12]

$$c_p = 999,2 + (0,1434T_w) + (1,101 \cdot 10^{-4}T_w^2) - (6,7581 \cdot 10^{-8}T_w^3) \quad (15)$$

$$\mu = (T_w \cdot 0,0000000462) + 0,00001718 \quad (16)$$

efisiensi termal dan efektivitas produksi kondensor pada *solar still*.

3.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang proses penelitian

3.1.1 Alat

Tabel 1 Alat Penelitian

| Alat | Fungsi | Spesifikasi |
|---------------------|--|---|
| Multimeter | Untuk mengukur tegangan, resistansi, arus listrik dan temperatur | Tegangan maksimum 1000 V AC/DC Arus maksimum 10 A Rentang suhu -40°C-400°C Akurasi dasar 0,09 % |
| Solar power meter | Mengukur intensitas cahaya | Range intensitas cahaya 1-3999 W/m ² 1-3999 Btu/(ft ² -h) |
| Thermometer digital | Mengukur temperatur | Range -50 ± 108 °C |
| Termokopel tipe k | Mengukur temperatur | - |
| Hygrometer digital | Mengukur kelembaban udara | Temperatur range: -10 ± 50 °C) Humidity range: 10% - |

| | | |
|-------------------|---|--|
| | | 99% RH |
| Hygrometer analog | Mengukur kelembaban udara (wet dan dry) | Range wet: 0-50 °C Range dry: 0-50 °C |
| Reservoir | Sebagai penampung air untuk melevelkan air di solar still | 30 x 20 x 20 (mm) |

3.1.2 Bahan

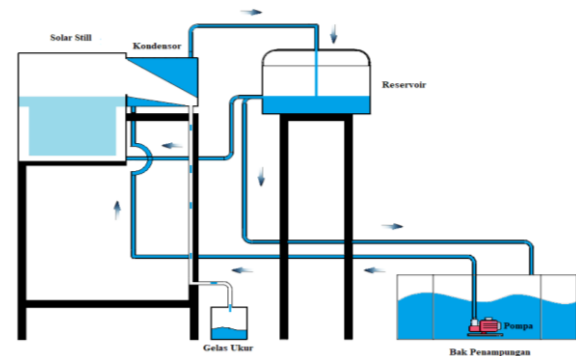
Tabel 2. Bahan Penelitian

| Nama | Fungsi | Spesifikasi |
|-----------------|--|----------------------|
| Aluminium plate | Sebagai cover basin solar still, preheater dan kondensor | 300 x 300 x 1,6 (mm) |
| Baja L | Untuk membuat dudukan solar still dan leveling control | 75 x 20 x 3 (mm) |
| Kaca | Absorber panas | Tebal 3 mm |
| Styrofoam | Sebagai isolator | Tebal 10 mm |
| Selang | Sirkulasi air | - |
| Karet kemfer | Sebagai isolator untuk selang | Tebal 4 mm |
| Air laut | Media desalinasi | - |

3.2 Desain Penelitian

Jenis *solar still* yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe terpadu. Dasar basin menggunakan material aluminium dengan panjang 300 mm, lebar 300 mm dan tebal 1.6 mm. Pada bagian kondensor juga menggunakan material aluminium, penggunaan aluminium dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi dibandingkan menggunakan kaca dan plastik [21]. Pada bagian penutup menggunakan kaca dengan tebal 3 mm karena nilai transmisivitas tinggi dan absorptivitas yang rendah dibanding kaca dengan ketebalan 5 mm dan 8 mm [22]. Di dasar basin terdapat pasir besi dengan ketinggian 15 mm dan terisi air laut 20 mm, penambahan pasir besi pada *solar still* mampu meningkatkan efisiensi *solar still* sebesar 1,5% [23]. Pelat aluminium dilapisi

styrofoam sebagai isolator untuk meminimalkan kehilangan panas [24]. Pada beberapa titik di *solar still* diberikan sensor *thermocouple* untuk mengukur temperatur.



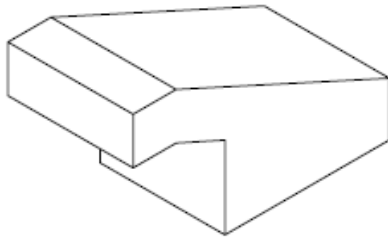
Gambar 1 Skema Penelitian

Pada penelitian ini panas dihasilkan dari radiasi matahari sehingga air di dalam solar menguap. Uap yang bertemu dengan pelat kaca penutup mengalami pengembunan dan hasil pengembunan berupa tetesan air yang akan mengalir mengikuti kemiringan kondensator menuju ke penampungan air hasil desalinasi atau gelas ukur.

3.3 Prosedur Penelitian

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan pengukuran. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 24 April 2021 dan validasi data dilakukan secara teoritis [25] [9]. Data primer dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dari temperatur, intensitas radiasi dan massa air hasil desalinasi.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dengan cara eksperimentasi menggunakan alat ukur yang telah disiapkan. Data diambil setiap satu jam sekali dengan mengukur intensitas radiasi menggunakan *solar power meter*, melakukan pengukuran temperatur air (T_w), permukaan kaca bagian dalam (T_{qi}), evaporasi (T_{evp}), kondensator (T_c) menggunakan *fluke meter*, untuk lingkungan (T_a) menggunakan termometer digital dan mengukur massa air hasil desalinasi menggunakan neraca digital.



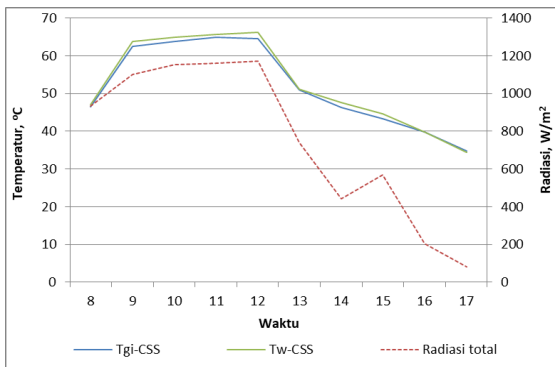
Gambar 2. Solar still

Data-data yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung koefisien konveksi aktual dan dibandingkan dengan pemodelannya.

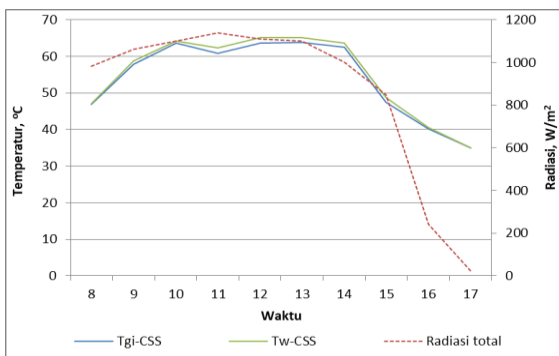
4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Parameter yang mempengaruhi air hasil desalinasi pada alat solar still adalah temperatur air (T_w), temperatur permukaan kaca bagian dalam (T_{gi}), dan intensitas radiasi ($I(t)$ s).

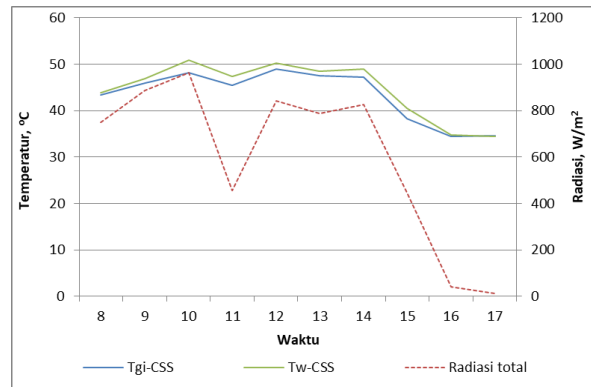
Berdasarkan grafik di Gambar 3, 4 dan 5, tampak bahwa temperature di dalam solar still sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari dan temperature air lebih tinggi daripada temperature permukaan kaca yang menandakan terjadi proses evaporasi dan penguapan.



Gambar 3. Grafik temperatur solar still 8 Maret 2021



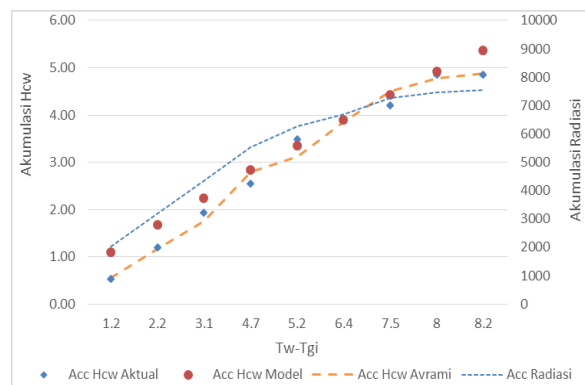
Gambar 4. Grafik temperatur solar still 9 Maret 2021



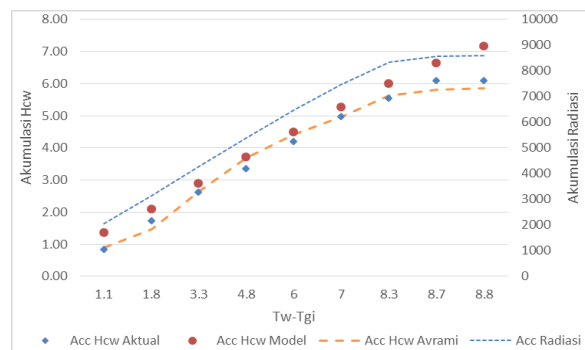
Gambar 5. Grafik temperatur solar still 10 Maret 2021

4.1 Akumulasi Koefisien Perpindahan Panas Konveksi

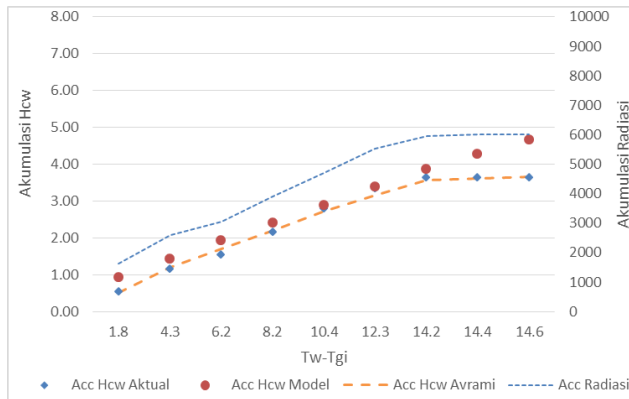
Gambar 6, 7 dan 8 menunjukkan bahwa akumulasi koefisien perpindahan panas konveksi yang dihitung menggunakan persamaan Nusselt dan Avrami mendekati dengan koefisien konveksi yang diperoleh dari menghitung balik dari massa air hasil eksperimen. Dalam grafik dibawah ini beberapa hasil pengukuran yang ekstrim dieliminasi dari perhitungan yaitu ketika tidak ada massa air yang dihasilkan oleh solar still.



Gambar 6. Akumulasi h_{cw} 8 Maret 2021

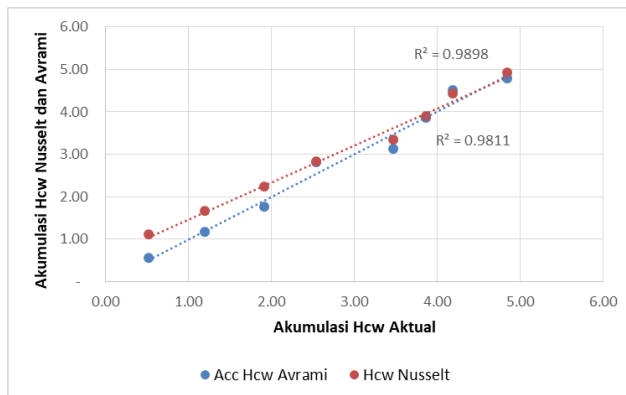


Gambar 7. Akumulasi h_{cw} 9 Maret 2021

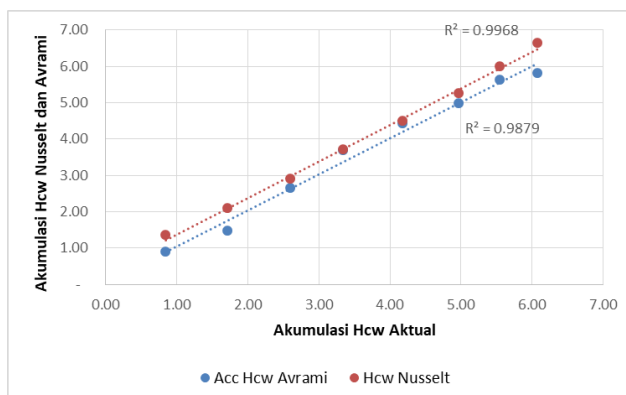


Gambar 8. Akumulasi h_{cw} 10 Maret 2021

Untuk memperkuat analisa maka akumulasi koefisien perpindahan panas konveksi dari hasil penelitian akan dikorelasikan dengan koefisien perpindahan panashasil perhitungan menggunakan persamaan Nusselt dan Avrami sebagaimana ditampilkan pada Gambar 9, 10 dan 11.

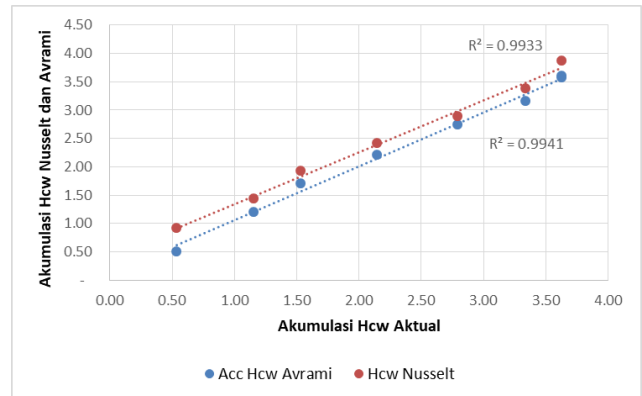


Gambar 9. Korelasi Akumulasi h_{cw} 8 Maret 2021



Gambar 10. Korelasi Akumulasi h_{cw} 9 Maret 2021

Gambar 8, 9 dan 10 menunjukkan bahwa korelasi antara akumulasi koefisien perpindahan panas konveksi dari hasil eksperimen memiliki korelasi antara 0,9898 – 0,9968 dengan akumulasi koefisien perpindahan panas konveksi menggunakan persamaan Nusselt.



Gambar 11. Korelasi Akumulasi h_{cw} 10 Maret 2021

Korelasi akumulasi koefisien perpindahan panas konveksi dari hasil eksperimen dengan koefisien perpindahan panas konveksi menggunakan persamaan Avrami 0,9811 – 0,9941 yang artinya kedua korelasi tersebut memiliki nilai korelasi sangat kuat [26] dengandemikian dapat ditarik kesimpulan bahwa persamaan Avrami dapat digunakan pada perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi tanpa melewati tahapan yang harus dilakukan apabila menghitung menggunakan persamaan Nusslet seperti pada analogi panas dan massa.

5 SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa persamaan Avrami dapat digunakan sebagai cara cepat untuk melakukan pendekatan pada perhitungan model koefisien perpindahan panas konveksi di solar still. Tidak menutup kemungkinan bahwa persamaan ini dapat digunakan untuk perhitungan cepat pada hasil solar still.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] S. Combes, "Protecting Freshwater Ecosystems in the Face of Global Climate Change," no. Climate, pp. 117–216, 2005.
- [2] D. Guha-Sapir, P. Hoyois, and R. Below, "Annual Disaster Stastical Review 2013," *Cent. Res. Epidemiol. Disasters*, pp. 1–50, 2013.
- [3] Lisa Guppy *et al.*, "Global Water Crisis : the Facts," pp. 1–12, 2017.
- [4] P. G. Youssef, R. K. Al-Dadah, and S. M. Mahmoud, "Comparative analysis of desalination technologies," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 2604–2607, 2014, doi:

- 10.1016/j.egypro.2014.12.258.
- [5] M. S. S. Abujazar, S. Fatihah, A. R. Rakmi, and M. Z. Shahrom, "The effects of design parameters on productivity performance of a solar still for seawater desalination: A review," *Desalination*, vol. 385, pp. 178–193, 2016, doi: 10.1016/j.desal.2016.02.025.
- [6] A. Boutriaa and A. Rahmani, "Thermal modeling of a basin type solar still enhanced by a natural circulation loop," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 101, pp. 31–43, 2017, doi: 10.1016/j.compchemeng.2017.02.033.
- [7] S. W. Sharshir, A. H. Elsheikh, G. Peng, N. Yang, M. O. A. El-Samadony, and A. E. Kabeel, "Thermal performance and exergy analysis of solar stills – A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. June, pp. 521–544, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.156.
- [8] Y. P. Yadav, G. N. Tiwari, P. C. Eames, and B. Norton, "Solar distillation systems: The state-of-the-art in design development and performance analysis," *Renew. Energy*, vol. 5, no. 1–4, pp. 509–516, 1994, doi: 10.1016/0960-1481(94)90425-1.
- [9] G. N. Tiwari, V. Dimri, and A. Chel, "Parametric study of an active and passive solar distillation system: Energy and exergy analysis," *Desalination*, vol. 242, no. 242, pp. 1–18, 2009, doi: 10.1016/j.desal.2009.02.001.
- [10] Y. H. Zurigat and M. K. Abu-Arabi, "Modelling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 24, no. 7, pp. 1061–1072, 2004, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2003.11.010.
- [11] G. N. Tiwari, S. K. Shukla, and I. P. Singh, "Computer modeling of passive/active solar stills by using inner glass temperature," *Desalination*, vol. 154, no. 2, pp. 171–185, 2003, doi: 10.1016/S0011-9164(03)80018-8.
- [12] A. K. Tiwari and G. N. Tiwari, "Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition," *Desalination*, vol. 195, no. 1–3, pp. 78–94, 2006, doi: 10.1016/j.desal.2005.11.014.
- [13] Ahmed, "Study of Single Effect Solar Still With an Internal Condenser," vol. 5, no. 6, pp. 637–643, 1988.
- [14] C. Elango, N. Gunasekaran, and K. Sampathkumar, "Thermal models of solar still - A comprehensive review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 856–911, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.054.
- [15] 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, doi: 10.1093/ijlct/ctt069.
- [16] J. P. Holman, *Heat Transfer*, Ten., vol. 15, no. 3. New York, 2010.
- [17] R. Svoboda, "Crystallization of glasses – When to use the Johnson-Mehl-Avrami kinetics?," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 41, no. 15, pp. 7862–7867, 2021, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2021.08.026.
- [18] K. Dimitra and C. Konstantinos, "Nonisothermal Crystallization Kinetics: Studying the Validity of Different Johnson-Mehl-Avrami-Erofeev-Kolmogorov (JMAEK) Based Equations," *Thermochim. Acta*, vol. 704, no. March, p. 179030, 2021, doi: 10.1016/j.tca.2021.179030.
- [19] M. Avrami, "Kinetics of phase change. I: General theory," *J. Chem. Phys.*, vol. 7, no. 12, pp. 1103–1112, 1939, doi: 10.1063/1.1750380.
- [20] E. C. N. Lopes, F. S. C. Dos Anjos, E. F. S. Vieira, and A. R. Cestari, "An alternative Avrami equation to evaluate kinetic parameters of the interaction of Hg(II) with thin chitosan membranes," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 263, no. 2, pp. 542–547, 2003, doi: 10.1016/S0021-9797(03)00326-6.
- [21] P. Malaiyappan and N. Elumalai, "Single basin and single slope solar still: Various basin material thermal research," *J. Chem. Pharm. Sci.*, vol. 7, no. 7, pp. 48–51, 2015.
- [22] D. A. Bara, Gusnawati, and Nurhayati, "Pengaruh Sudut Kaca Penutup dan Jenis Kaca terhadap Efisiensi Kolektor Surya pada Proses Destilasi Air Laut," *Lontar J. Tek. Mesin Undana*, vol. 03, no. 02, pp. 01–10, 2016.
- [23] D. Mugisidi, R. S. Cahyani, O. Heriyani, D. Agusman, and Rifky, "Effect of Iron Sand in Single Basin Solar Still: Experimental Study," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012158.
- [24] M. Zeroual, H. Bouguettaia, D. Bechki, S. Boughali, B. Bouchekima, and H. Mahcene, "Experimental investigation on a double-slope solar still with partially cooled condenser in the region of Ouargla (Algeria)," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 736–742, 2011, doi: 10.1016/j.egypro.2011.05.083.
- [25] H. E. S. Fath and S. M. Elsherbiny, "Effect of adding a passive condenser on solar still performance," *Energy Convers. Manag.*, vol. 34, no. 1, pp. 63–72, 1993, doi: 10.1016/0196-8904(93)90008-X.
- [26] M. Rosyada, Y. Prasetyo, and H. Haniah, "Analisis Korelasi Suhu Permukaan Laut terhadap Curah Hujan dengan Metode Penginderaan Jauh Tahun 2021-2013," *J. Geod. Undip*, vol. 4, no. 1, pp. 85–94, 2015.