

Pengaruh Gelembung Udara Pada Efisiensi Distilasi Air Energi Surya

Ignatius Kristian¹⁾, Nikodemus Yoel Simamora²⁾ dan Rusdi Sambada^{3,*)}

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paingan Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta 55282

*) Corresponding author: sambada@usd.ac.id

Abstract

Solar energy water distillation is a simple and environmentally friendly technology that can obtain drinking water from contaminated water. The problem with solar energy water distillation is low efficiency. This research aims to increase the efficiency of solar energy water distillation by increasing the water evaporation process using air bubbles. The research method is an experiment using a distillation model in the laboratory. The distillation model used is a basin type. Air bubbles are produced by an aerator that flows air through a perforated hose into the distillation tank. Electrical heater is used as solar energy simulators. A fan is used to simulate wind in a natural environment. The varied variables was air bubbles introduced into the water. The variables measured to analyze the efficiency of the distillation model in this research are the distillation cover glass temperature, the distillation tank's water temperature, and the distilled water results. This research shows that using air bubbles in solar energy water distillation can increase efficiency significantly.

Abstrak

Distilasi air energi surya merupakan teknologi sederhana dan ramah lingkungan untuk mendapatkan air minum dari air yang terkontaminasi. Permasalahan pada distilasi air energi surya adalah efisiensi yang rendah. Penelitian ini bertujuan meningkatkan efisiensi distilasi air energi surya dengan meningkatkan proses penguapan air menggunakan gelembung udara. Metode penelitian adalah eksperimen menggunakan model distilasi di dalam laboratorium. Model distilasi yang digunakan adalah jenis bak. Gelembung udara dihasilkan aerator yang mengalirkan udara melalui selang berlubang ke bak distilasi. Pemanas listrik digunakan sebagai simulator energi surya. Sebuah kipas angin digunakan untuk simulasi angin pada lingkungan sebenarnya. Variabel yang divariasikan adalah massa gelembung udara yang dimasukkan kedalam air. Variabel yang diukur untuk menganalisis efisiensi model distilasi dalam penelitian ini adalah temperatur kaca penutup distilasi, temperatur air dalam bak distilasi serta hasil air distilasi yang diperoleh. Penelitian ini menunjukkan penggunaan gelembung udara pada distilasi air energi surya dapat meningkatkan efisiensi secara signifikan.

Kata kunci: *air bubbles, distillation, efficiency, solar energy*

PENDAHULUAN

Masyarakat yang hidup di daerah perkotaan umumnya tidak menghadapi masalah untuk mendapatkan air minum. Selain dari perusahaan air minum yang dikelola pemerintah, masyarakat yang hidup diperkotaan juga dapat membeli air minum kemasan dengan mudah dan murah. Sangat berbeda dengan masyarakat yang hidup di perkotaan, masyarakat yang hidup di daerah terpencil sangat sulit untuk mendapatkan air minum. Selain belum adanya jaringan air minum yang dikelola pemerintah, pemasaran air minum kemasan umumnya tidak menjangkau daerah-daerah terpencil. Dalam memenuhi kebutuhan air minum, masyarakat di daerah terpencil umumnya memanfaatkan sumber air yang ada seperti air tanah, sungai bahkan dengan menampung air hujan. Air yang diperoleh dari air tanah, sungai atau air hujan umumnya tidak memenuhi syarat kesehatan untuk dimanfaatkan sebagai air minum karena mengandung zat-zat kontaminan yang merugikan kesehatan. Zat-zat kontaminan yang merugikan kesehatan diantaranya partikel tanah, logam berat, bakteri, garam dan sebagainya. Karenanya diperlukan suatu teknologi sederhana yang dapat memurnikan air terkontaminasi di daerah-daerah terpencil sehingga layak digunakan sebagai air minum.

Distilasi air energi surya merupakan salah satu teknologi sederhana yang dapat diterapkan di daerah-daerah terpencil untuk memperoleh air minum dari air yang tercemar. Sebagai negara yang terletak di daerah tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya sebesar 4,80 kWh/m²/hari [1] yang dapat dimanfaatkan untuk memurnikan air terkontaminasi menggunakan distilasi air energi surya. Terdapat banyak jenis distilasi air energi surya dan salah satu yang banyak digunakan, dan diteliti adalah distilasi air energi surya jenis bak.

Permasalahan utama pada distilasi air energi surya adalah masih rendahnya efisiensi distilasi. Efisiensi distilasi air energi surya berbanding lurus dengan hasil air distilasi. Efisiensi distilasi air energi surya jenis bak sangat dipengaruhi oleh laju penguapan air pada bagian bak. Semakin besar laju penguapan, semakin besar efisiensi yang diperoleh. Beberapa penelitian distilasi berupaya menaikkan efisiensi diantaranya penelitian untuk meningkatkan efisiensi dengan memperlama waktu penguapan melalui modifikasi bentuk absorber [2], dengan memanfaatkan panas pengembunan kaca menggunakan kaca ganda [3], dengan pengaturan laju aliran air menggunakan mikrokontrol [4], dengan mengoptimalkan parameter-parameter berpengaruh menggunakan perangkat lunak Trnsys [5], dengan memperluas absorber melalui modifikasi bentuk geometri absorber [6], [7], dengan memanfaatkan sifat kapilaritas material [8], [9], [10] dan pemanfaatan nanokarbon [11], [12].

Laju penguapan pada distilasi jenis bak sebenarnya dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan pengaruh adanya gelembung udara dalam air pada proses penguapan. Adanya gelembung udara pada air merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan proses penguapan. Namun penjelasan teoritis pengaruh gelembung udara pada aplikasi distilasi energi surya dapat dikatakan belum ada. Walaupun penjelasan teoritis tentang pengaruh gelembung udara pada aplikasi distilasi energi surya belum ada, beberapa penelitian distilasi air energi surya oleh peneliti lain dengan gelembung udara membuktikan bahwa gelembung udara dapat meningkatkan efisiensi distilasi. Beberapa penelitian tersebut diantaranya adalah penelitian distilasi air energi surya dengan injeksi udara panas menggunakan gelembung udara mendapatkan peningkatan hasil air distilasi sebesar 108% [13] dan 33,5% sampai 47,5% [14] dibandingkan distilasi tanpa gelembung udara. Namun pada penelitian [13] dan [14] tidak ada penjelasan teoritis mengapa gelembung udara dapat meningkatkan hasil. Penelitian distilasi air energi surya menggunakan injeksi udara dengan generator gelembung yang terbuat dari batu-udara sebanyak 1, 2, 3 dan 4 buah meningkatkan hasil distilasi air energi surya sebesar 15,6%; 28,7%; 9,3%, dan 5,4%, pada penelitian ini juga tidak disampaikan penjelasan teoritis mengapa dengan penambahan batu-udara justru menurunkan peningkatan hasil [15]. Penelitian distilasi air energi surya yang lain menggunakan gelembung udara juga menunjukkan peningkatan hasil

sebesar 10% [16] dan 40,9% [17] dibandingkan distilasi yang sama tanpa gelembung udara. Pada penelitian [16] dan [17] analisa yang disampaikan bersifat umum pada efisiensi alat distilasi surya dan tidak ada pembahasan pada sisi gelembung udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran udara ke dalam batu udara yang akan menghasilkan gelembung udara terhadap hasil air distilasi.

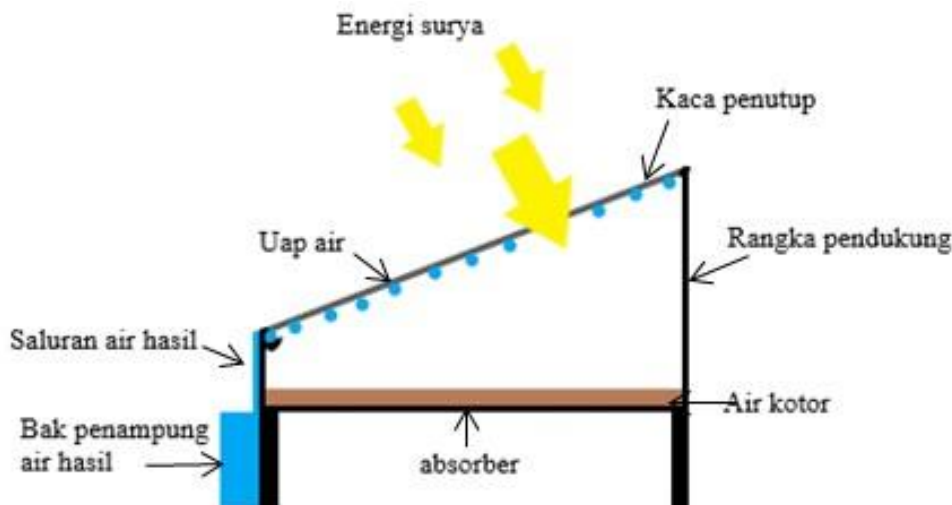
METODE PENELITIAN

Komponen utama dari distilasi air energi surya adalah bak absorber dan kaca penutup. Dalam distilasi air energi surya jenis bak terdapat dua proses utama, yakni penguapan dan pengembunan. Gambar 1 menggambarkan prinsip kerja sederhana dari distilasi air energi surya. Energi surya menembus kaca penutup, kemudian diserap oleh absorber. Absorber akan memanasi air sehingga air menguap. Zat kontaminan tidak menguap sehingga uap air yang mengembun bersih dan dapat dikonsumsi.

Efisiensi alat distilasi (η) merupakan perbandingan antara jumlah energi panas yang digunakan dalam proses penguapan air dengan jumlah energi panas yang datang selama waktu pemanasan [18]

$$\eta = \frac{m \cdot h_{fg}}{A_c \cdot G_T \cdot dt} \quad (1)$$

dengan m adalah hasil air distilasi (kg), h_{fg} adalah panas laten air (J/kg), A_c adalah luasan alat distilasi (m^2), G_T adalah energi surya (W/m^2) dan dt adalah waktu selama pemanasan (detik).

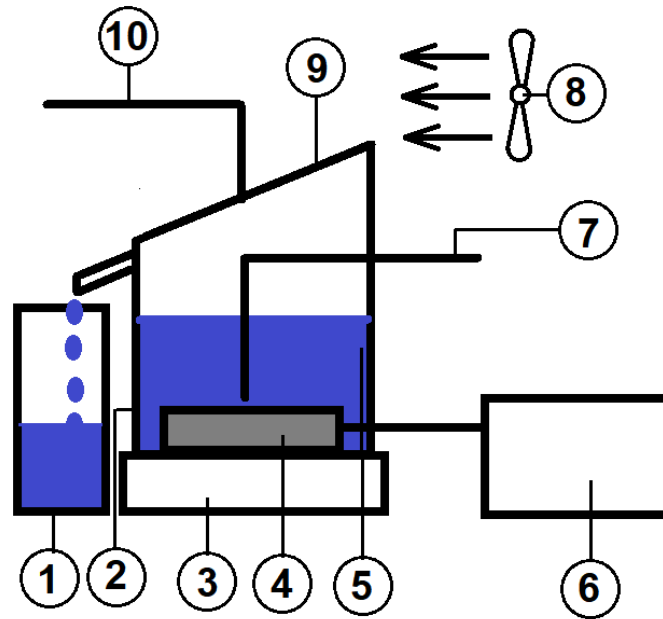


Gambar 1. Distilasi air energi surya jenis bak

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di dalam ruangan menggunakan model alat distilasi (Gambar 2). Bagian-bagian model distilasi terdiri dari (1) penampung air hasil, (2) bak destilasi, (3) pemanas listrik sebagai simulator energi panas surya, (4) batu udara, (5) air yang akan didistilasi, (6) aerator, (7) termokopel untuk mengatur dan mengukur temperatur air, (8) kipas sebagai simulator angin pada lokasi penggunaan alat distilasi, (9) kaca penutup, dan (10) termokopel untuk mengukur temperatur kaca.

Untuk mencapai tujuan penelitian ini yakni mengetahui pengaruh laju aliran udara ke dalam batu udara yang akan menghasilkan gelembung udara terhadap hasil air distilasi maka dilakukan 3 variasi variabel penelitian. Variasi pertama dilakukan dengan mevariasikan laju

aliran udara kedalam batu udara dengan 3 variasi laju aliran udara yakni 0 ml/ detik (tanpa laju aliran udara), 17 ml/detik dan 40 ml/detik. Pada variasi pertama laju aliran udara, temperatur air diatur tetap sebesar 65^oC dan temperatur udara diatur tetap sebesar 31^oC. Variasi kedua dilakukan dengan mevariasikan laju aliran udara sebesar 0 ml/ detik (tanpa laju aliran udara) dan 40 ml/detik dengan temperatur air diatur sebesar 50^oC dan temperatur udara diatur tetap sebesar 31^oC. Variasi ketiga dilakukan dengan mevariasikan laju aliran udara sebesar 0 ml/detik (tanpa laju aliran udara) dan 40 ml/detik dengan temperatur air diatur sebesar 65^oC dan temperatur udara masuk ke dalam batu udara sebesar 40^oC. Pada semua variasi, volume air yang digunakan disetiap variasi 1500 ml.



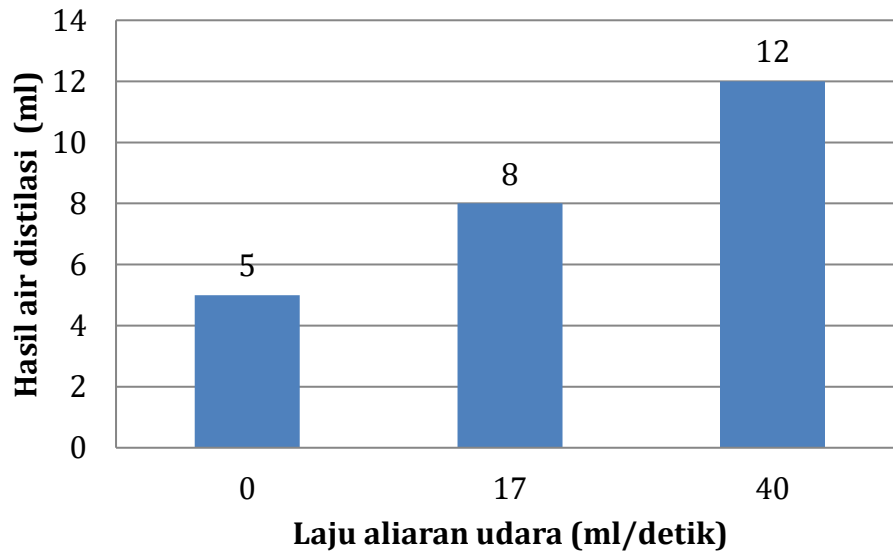
Gambar 2. Skema alat penelitian

Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah temperatur air, temperatur kaca, jumlah air hasil distilasi dan waktu pengambilan data. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe K, pengukuran jumlah air distilasi menggunakan gelas ukur dan pengukuran waktu pengambilan data menggunakan *stopwatch*. Pada setiap variasi dilakukan pencatatan temperatur air dan temperatur kaca setiap 20 menit selama satu jam, sedangkan pengukuran air hasil distilasi dilakukan pada akhir pengambilan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

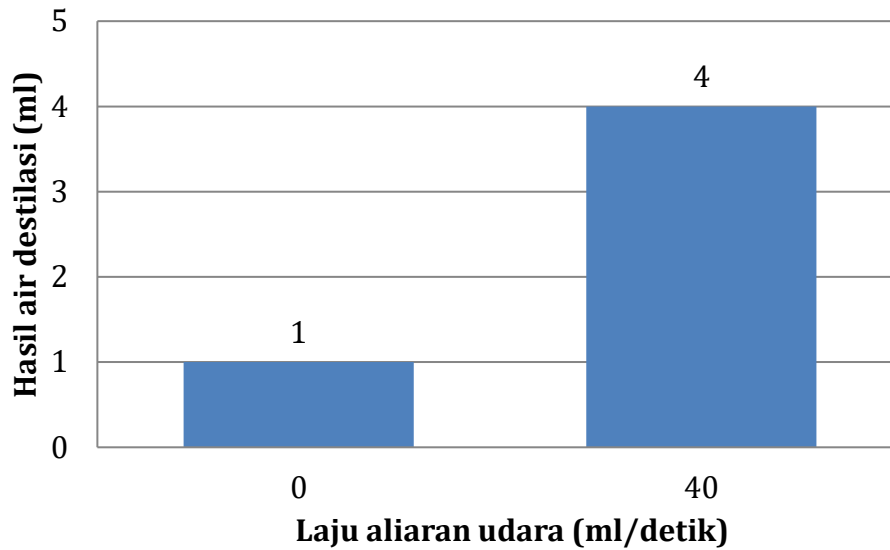
Hasil semua variasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3, 4 dan 5. Gambar 3 menunjukkan hasil air distilasi yang dihasilkan pada variasi pertama yakni variasi tiga laju aliran udara yang berbeda yakni 0 ml/detik, 17 ml/detik, dan 40 ml/detik dengan temperatur air 65^oC dan temperatur udara 31^oC. Pada variasi laju aliran 0 ml/detik menghasilkan 5 ml air. distilasi dalam satu jam yang merupakan hasil paling rendah dibandingkan dua variasi laju aliran udara yang lain. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanpa aliran udara, proses penguapan pada alat distilasi tidak optimal. Pada laju aliran udara sebesar 17 ml/detik selama satu jam, hasil air distilasi meningkat menjadi 8 ml. Hasil air distilasi terbanyak sebesar 12 ml dalam satu jam diperoleh pada variasi laju aliran udara sebesar 40 ml/detik. Hasil pada variasi pertama ini menunjukkan bahwa semakin tbesar laju aliran udara, semakin banyak gelembung udara yang terbentuk. Semakin banyak gelembung udara yang terbentuk semakin banyak air distilasi yang

diperoleh. Hal tersebut menunjukkan semakin banyak gelembung udara yang terbentuk, semakin baik proses penguapan air. Semakin baiknya proses penguapan terlihat dari pengamatan proses distilasi yang terjadi yakni proses penguapan air ke kaca penutup terjadi dengan cepat dan merata dalam waktu 5 menit kemudian mengembun. Embun air menetes ke talang dan mengalir ke penampungan dalam waktu 16 menit. Persamaan (1) menunjukkan hasil air distilasi berbanding lurus dengan efisiensi distilasi sehingga peningkatan hasil air distilasi juga berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi. Pada variasi ini peningkatan efisiensi sebesar 60% terhadap proses distilasi tanpa gelembung udara diperoleh pada variasi laju aliran udara 17 ml/ detik dan peningkatan efisiensi sebesar 140% terhadap proses distilasi tanpa gelembung udara diperoleh pada variasi laju aliran udara 40 ml/ detik



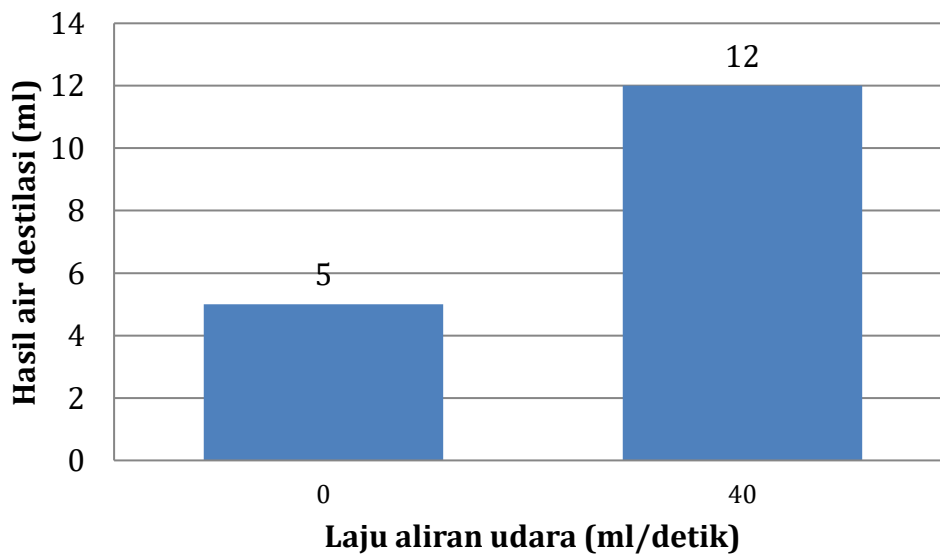
Gambar 3. Hasil air distilasi pada variasi laju aliran udara dengan temperatur air 65°C dan temperatur udara 31°C.

Gambar 4 menunjukkan hasil air distilasi yang dihasilkan pada variasi kedua yakni variasi dua laju aliran udara yang berbeda yakni 0 ml/detik, 40 ml/detik, dengan temperatur air 50°C dan temperatur udara 31°C. Pada temperatur air 50°C penguapan terjadi pada 5 menit pertama. Embun mengalir ke talang pada menit kesembilan dan embun mengalir ke talang pada menit ketiga puluh kemudian air mulai mengalir ke penampungan pada menit 38. Hasil air distilasi pada variasi kedua ini selama satu jam pengambilan data lebih sedikit dibandingkan hasil air distilasi pada variasi pertama. Hal ini disebabkan karena temperatur air yang didistilasi pada variasi kedua ini lebih rendah yakni 50°C dibandingkan temperatur air pada variasi pertama sebesar 65°C. Temperatur air merupakan faktor yang sangat menentukan proses penguapan. Semakin tinggi temperatur air, semakin besar energi kinetik molekul air sehingga putusanya ikatan antar molekul air yang menyebabkan proses penguapan juga semakin banyak. Walaupun hasil air distilasi yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan variasi pertama, namun jika dilihat dari peningkatan hasil air distilasi tanpa aliran udara maka variasi kedua ini lebih baik dari variasi pertama. Hasil air distilasi tanpa aliran udara atau aliran udara 0 ml/detik pada variasi kedua ini adalah sebesar 1ml dalam 1 jam sedangkan hasil air distilasi dengan aliran udara 40 ml/detik menghasilkan air distilasi sebanyak 4 ml dalam 1 jam. Dengan kata lain peningkatan hasil proses distilasi dengan gelembung udara (laju aliran udara 40 ml/detik) pada temperatur air 50°C adalah sebesar 300% dibandingkan proses distilasi tanpa gelembung udara (laju aliran udara 0 ml/detik). Hal tersebut menunjukkan pengaruh gelembung udara terhadap efisiensi distilasi semakin berarti pada temperatur air yang semakin rendah.



Gambar 4. Hasil air distilasi pada variasi laju aliran udara dengan temperatur air 50°C dan temperatur udara 31°C.

Gambar 5 menunjukkan hasil air distilasi yang dihasilkan pada variasi ketiga yakni variasi dua laju aliran udara yang berbeda yakni 0 ml/detik, 40 ml/detik, dengan temperatur air 65°C dan temperatur udara 40°C. Pada temperatur udara 40°C penguapan terjadi pada menit kelima, embun mengalir ke talang pada menit kesebelas, dan embun mengalir masuk ke penampungan pada menit 16. Hasil air distilasi dengan laju udara 40 ml/detik, dengan temperatur udara 40°C dan temperatur air 65°C sama dengan variasi pertama yakni variasi laju udara 40 ml/detik, dengan temperatur udara 31°C dan temperatur air 65°C. Pada variasi ketiga temperatur udara yang lebih besar (40°C) seharusnya menghasilkan air distilasi yang lebih banyak dibandingkan variasi pertama dengan temperatur udara masuk ke dalam batu udara yang lebih rendah (31°C).



Gambar 5. Hasil air distilasi pada variasi laju aliran udara dengan temperatur air 65°C dan temperatur udara 40°C

Anomali hasil air distilasi ini kemungkinan disebabkan karena cara pengaturan temperatur air yang kurang tepat sehingga pengaruh temperatur udara tidak dapat terlihat. Pengaturan temperatur air adalah berdasarkan temperatur yang ditentukan yakni 65°C. Saat temperatur yang ditentukan tercapai maka pemanas dimatikan. Kemungkinan variasi ketiga mencapai temperatur 65°C lebih cepat dibandingkan temperatur pertama, namun karena pencatatan data dilakukan tiap 20 menit menyebabkan waktu yang lebih cepat juga tidak teramati. Temperatur 65°C pada variasi ketiga dapat dicapai lebih cepat karena energi panas yang diperoleh air berasal dari pemanas listrik dan gelembung udara dari udara masuk sedangkan energi panas yang diterima air pada variasi pertama hanya berasal dari pemanas listrik. Saran yang dapat diusulkan untuk mengetahui pengaruh temperatur udara masuk ke batu udara terhadap efisiensi adalah dengan menentukan lama proses distilasi yang sama antara variasi temperatur udara masuk yang berbeda.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah semakin besar laju aliran udara, semakin banyak gelembung udara yang terbentuk. Semakin banyak gelembung udara yang terbentuk, semakin besar peningkatan efisiensi yang dicapai. Peningkatan efisiensi tertinggi sebesar 140% terhadap proses distilasi tanpa gelembung udara diperoleh pada variasi laju aliran udara 40 ml/detik dengan temperatur air 65°C dan temperatur udara 31°C.

Pengaruh gelembung udara terhadap peningkatan efisiensi distilasi semakin berarti pada temperatur air yang semakin rendah. Peningkatan hasil proses distilasi dengan gelembung udara pada laju aliran udara 40 ml/detik dan pada temperatur air 50°C adalah sebesar 300% dibandingkan proses distilasi tanpa gelembung udara (laju aliran udara 0 ml/detik).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Negara Riset dan Teknologi, *Indonesia 2005-2025 Buku Putih Penelitian, Pengembangan Dan Penerapan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*. Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, 2006.
- [2] D. H. Pamungkas and F. A. Rusdi Sambada, "Effects of water heating time on the efficiency of a wick-covered partition solar still," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Dec. 2019. doi: 10.1063/1.5141709.
- [3] R. Sambada, S. Soeparman, W. Wijayanti, and E. Siswanto, "INCREASING INLET WATER TEMPERATURE USING CONDENSATION HEAT TO IMPROVE SOLAR DISTILLATION EFFICIENCY," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 8–107, pp. 42–54, 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.209751.
- [4] E. Parikesit and F. R. Sambada, "Comparison of microcontroller-based and mechanically controlled water rate control systems in solar energy water distillation," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1516/1/012019.
- [5] M. G. Haribawono, W. J. Wicaksono, and F. A. R. Sambada, "TRNSYS simulation analysis of basin-type solar still," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Sep. 2021. doi: 10.1063/5.0062855.
- [6] H. O. D. Adenover, J. V. A. Bramantyo, and F. A. R. Sambada, "Effect of wick color on solar still performance with cylindrical absorber," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Sep. 2021. doi: 10.1063/5.0062854.

- [7] F. O. Pakpahan, A. J. A. Sinaga, and F. A. R. Sambada, “The effect of wick geometry shape on the performance of slope type solar energy water distillation,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., May 2023. doi: 10.1063/5.0120347.
- [8] A. S. Wicaksono and F. A. R. Sambada, “Effect of capillarity direction on solar still performance,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., May 2023. doi: 10.1063/5.0121802.
- [9] H. D. Prasetya, M. B. N. Siwa, and R. Sambada, “Increasing the efficiency of solar energy water distillation using the capillarity method,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., May 2023. doi: 10.1063/5.0120341.
- [10] Riki, B. D. N. Sasongko, and F. A. R. Sambada, “The Effect of The Capillarity on the Efficiency of Wick-Type Solar Energy Water Distillation,” 2023, pp. 159–165. doi: 10.2991/978-94-6463-284-2_19.
- [11] K. E. Kurniawan, J. F. Pangaribuan, F. A. R. Sambada, and I. G. K. Puja, “Effects of interfacing and nanocarbon on the performance of basin-type solar still,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., May 2023. doi: 10.1063/5.0120349.
- [12] A. G. Simamora, Y. D. A. Setyawan, F. A. R. Sambada, and I. G. K. Puja, “Effect of nanocarbon on performance tilted type solar energy water distillation,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., May 2023. doi: 10.1063/5.0120650.
- [13] A. E. Kabeel, M. Abdelgaied, and M. Mahgoub, “The performance of a modified solar still using hot air injection and PCM,” *Desalination*, vol. 379, pp. 102–107, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.desal.2015.11.007.
- [14] G. C. Pandey, “Effect of dried and forced air bubbling on the partial pressure of water vapour and the performance of solar still,” *Solar Energy*, vol. 33, no. 1, pp. 13–18, 1984, doi: 10.1016/0038-092X(84)90111-7.
- [15] D. K. Murugan, H. Panchal, Z. Said, and S. Shankaranarayanan, “Air stone-induced microbubble agitation: a strategy for solar still performance enhancement,” *Clean Technol Environ Policy*, vol. 26, no. 2, pp. 417–434, Feb. 2024, doi: 10.1007/s10098-023-02630-z.
- [16] R. Fallahzadeh, L. Aref, V. Madadi Avargani, and N. Gholamiarjenaki, “An experimental investigation on the performance of a new portable active bubble basin solar still,” *Appl Therm Eng*, vol. 181, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115918.
- [17] A. E. Kabeel and M. Abdelgaied, “Performance enhancement of a photovoltaic panel with reflectors and cooling coupled to a solar still with air injection,” *J Clean Prod*, vol. 224, pp. 40–49, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.199.
- [18] Ted J. Jansen, *Solar Engineering Technology*. Prentice Hall, 1985.