

Pemodelan dan Analisis Termaldestilasi Air Energi Surya dengan Kaca Penutup Berpenampung Air

Doddy Purwadianto*, Wibowo Kusbandono, FA. Rusdi Sambada

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma,
Kampus III Universitas Sanata Dharma, Paingan, Maguwoharjo, Depok, Yogyakarta 55282,
Telp. (0274) 883037, Fax. (0274) 886529

*Penulis korespondensi, e-mail: purwadodi@gmail.com

Abstract

A common way to increase the efficiency of distillation of solar energy is by cooling the cover glass. The method of cooling glass that is widely studied is the spray method. Spray method still has a weakness that is not the entire surface of the glass can be wetted cooling water. The water reservoir method allows wettage of the entire surface of the cover glass so that the cooling process can be better. This study aims to increase the efficiency of the distillation of solar energy water by cooling the cover glass using a water reservoirs method. Parameters varied during this experimental stage are: the cooling water mass rate. Parameters measured were: (1) absorber temperature, (2) cover glass temperature, (3) cooling water temperature, (4) input water temperature, (5) ambient air temperature, (6) distilled water, (7) solar energy coming and (8) data recording time. The conclusions of this study were: the largest distillate water yield obtained was 3.26 liter / (hari.m²) with an average efficiency of 41.0%. Distilled water yield and best efficiency are obtained at cooling water rate of 7.1 liter / hour. The temperature difference between the absorber and the largest glass is 11.4°C

Keywords: cooling, water distillation, solar energy, water reservoirs

1. Pendahuluan

Air bersih merupakan keperluan sehari-hari masyarakat terutama untuk air minum. Sumber air yang ada sering telah terkontaminasi oleh tanah, logam berat, bakteri atau bahan lain yang dapat berbahaya bagi kesehatan. Ada beberapa cara penjernihan air, cara yang murah dan sederhana adalah menggunakan destilasi air energi surya. Dua proses utama destilasi air energi surya adalah penguapan air di absorber dan pengembunan uap air pada kaca penutup. Pada proses penguapan hanya air yang menguap sedangkan bahan yang mengkontaminasi air tidak ikut menguap sehingga pada proses pengembunan akan dihasilkan air bersih. Air di absorber dapat menguap karena absorber menerima energi surya dan uap air dapat mengembun pada kaca penutup karena temperatur kaca yang berada pada temperatur pengembunan uap air pada tekanan parsial uap yang terjadi dalam alat destilasi. Permasalahan pada destilasi air energi surya saat ini adalah masih rendahnya efisiensi yang dihasilkan.

Rendahnya efisiensi diantaranya disebabkan oleh kurang efisiennya proses penguapan air di absorber dan pengembunan uap air pada kaca penutup. Penelitian destilasi air energi surya umumnya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi. Peningkatan efisiensi pengembunan uap air umumnya dilakukan dengan pendinginan kaca penutup menggunakan air. Dengan pendinginan maka temperatur kaca penutup akan menjadi rendah sehingga uap air dalam alat destilasi lebih mudah mengembun pada kaca penutup. Metode pendingin kaca yang banyak diteliti adalah metode spray. Pendinginan kaca penutup dengan metode spray dilakukan dengan mengalirkan air pada kaca penutup alat destilasi menggunakan pipa distribusi. Metode spray masih mempunyai kelemahan yakni tidak seluruh permukaan kaca dapat terbasahi air pendingin karena gaya adhesi air dengan kaca jauh lebih kecil dibandingkan gaya gravitasi air.

Hal tersebut menyebabkan pendinginan kaca kurang efektif dan efisien. Kurang efektif dan efisiennya pendinginan kaca menyebabkan efisiensi destilasi yang dihasilkan kurang maksimal.

Penelitian ini akan mengatasi kelemahan pada metode pendinginan spray. Metode pendinginan kaca penutup destilasi pada penelitian ini akan menggunakan metode penampungan air. Metode penampungan air memungkinkan terbasahnya seluruh permukaan kaca penutup sehingga proses pendinginan dapat lebih efektif dan efisien. Dengan lebih efektif dan efisiennya proses pendinginan kaca penutup maka efisiensi destilasi yang dihasilkan pada penelitian ini dapat lebih baik dibandingkan efisiensi destilasi pada penelitian sebelumnya.

Proses pendinginan kaca penutup terjadi karena adanya perpindahan panas secara konveksi dari kaca penutup ke air pendingin. Efektivitas dan efisiensi pendinginan kaca penutup ditentukan oleh perpindahan panas konveksi dari kaca penutup ke air pendingin. Perpindahan panas konveksi ditentukan oleh koefisien perpindahan panas dan beda temperatur antara kaca penutup dengan air pendingin. Faktor yang mempengaruhi besarnya koefisien perpindahan panas konveksi dan beda temperatur adalah laju alir massa air pendingin. Dalam penelitian ini akan dianalisis laju alir massa air pendingin optimal yang dapat menghasilkan koefisien perpindahan panas konveksi dan beda temperatur yang terbaik. Pada penelitian ini akan digunakan destilasi air energi surya jenis absorber kain.

Penelitian ini bertujuan meningkatkan efisiensi destilasi air energi surya dengan meningkatkan efisiensi proses pengembunan melalui pendinginan kaca penutup menggunakan metode penampungan air.

2. Kajian Literatur

Beberapa penelitian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi alat destilasi air energi surya yang telah dilakukan diantaranya: pengaruh temperatur udara sekitar, jumlah energi surya yang diterima alat destilasi [1], pengaruh bahan dan bentuk absorber [2], pengaruh tebal dan kemiringan kaca penutup [3, 4], pengaruh ketinggian air di bak air [5], pengaruh beda temperatur air dalam bak destilasi dengan temperatur kaca [6], pengaruh temperatur air masuk ke alat destilasi [7], pengaruh jenis dan konsentrasi zat kontaminasi, warna air yang akan didestilasi [8] dan pengaruh penggunaan kondensor pasif eksternal maupun internal pada alat destilasi [9].

Penelitian pendinginan kaca pada alat destilasi air energi surya jenis konvensional menggunakan kaca ganda menghasilkan air destilasi 42,8% lebih banyak dibandingkan jika tidak menggunakan pendinginan. Efisiensi tidak banyak bertambah dengan penambahan laju alir massa air pendingin begitu juga dengan variasi jarak antar kaca. Faktor kerugian panas sangat mempengaruhi hasil air destilasi [10]. Penelitian pendinginan kaca pada alat destilasi air energi surya jenis absorber kain dengan kaca tunggal mendapatkan adanya laju alir massa air pendingin optimum sebesar 1,5 m/s dibawah atau di atas nilai optimum tersebut akan menyebabkan turunnya efisiensi [11]. Penelitian pendinginan kaca pada jenis konvensional menggunakan kaca penutup tunggal menunjukkan efek pendinginan kaca dapat menaikkan efisiensi sebesar 6%. Pada penelitian ini juga didapatkan adanya laju alir massa air pendingin optimum. Penelitian ini juga mendapatkan bahwa penggunaan air pendingin pada kaca tunggal dapat mengurangi kerugian karena angin dan air pendingin dapat berfungsi sebagai pembersih kaca [12]. Penelitian yang sama pada jenis konvensional dengan kaca tunggal mendapatkan bahwa dengan mengikut sertakan efek penguapan efisiensi dapat naik sampai 20% [13]. Penelitian pendinginan kaca pada jenis konvensional dengan cara penyemprotan air dapat menaikkan efisiensi 15,7% sampai 31,8% dengan interval penyemprotan 20 dan 10 menit [14]. Penelitian pendinginan kaca pada jenis konvensional dengan mevariasikan laju alir massa air pendingin antara 100 ml/menit sampai 1800 ml/menit mendapatkan nilai optimum laju aliran pada 250 ml/menit dan menghasilkan kenaikan efisiensi sebesar 30,5% [15]. Penelitian pada jenis konvensional dengan kaca tunggal dan atap ganda menghasilkan kenaikan hasil air destilasi sebesar 17% [16].

Pada penelitian-penelitian terdahulu tersebut metode pendinginan kaca pada alat destilasi air energi surya yang digunakan adalah metode spray. Efisiensi destilasi air energi surya adalah perbandingan antara energi untuk proses penguapan dengan energi surya yang diterima alat destilasi:

$$\eta = \frac{q_e}{I(t)} \quad (1)$$

dengan q_e adalah energi surya untuk proses penguapan (W/m^2) dan $I(t)$ adalah energi surya yang diterima alat destilasi (W/m^2). Laju penguapan adalah:

$$m_e = q_e/h_{fg} \quad (2)$$

dengan m_e adalah laju penguapan massa air destilasi ($kg/(detik.m^2)$) dan h_{fg} adalah panas laten penguapan air (J/kg). Energi panas berpindah dari kaca ke air pendingin kaca secara konveksi. Energi panas yang diterima air pendingin kaca dari kaca diperoleh dari:

$$q = h(T_1 - T_2) \quad (3)$$

dengan q adalah konveksi ke air pendingin kaca, q_{cg} (W/m^2), h adalah koefisien konveksi, h_{cg} ($W/(m^2.°C)$), T_1 adalah temperatur kaca, T_g ($°C$) dan T_2 adalah temperatur air pendingin, T_{wf} ($°C$). Koefisien konveksi, h_{cg} adalah:

$$h_{cg} = 4,0 \frac{k_w}{\delta} \quad (4)$$

dengan k_w adalah konduktivitas termal air ($W/(m.°C)$) dan δ adalah tebal air (m).

Sebagian energi yang diterima air pendingin kaca dari kaca dikonveksikan dan diradiasikan ke lingkungan. Energi yang dikonveksikan dihitung menggunakan persamaan (3) dengan q adalah konveksi ke lingkungan, q_{ca} (W/m^2), h adalah koefisien konveksi, h_{ca} ($W/(m^2.°C)$), T_1 adalah temperatur air pendingin kaca, T_{wf} ($°C$) dan T_2 adalah temperatur udara sekitar, T_a ($°C$). Koefisien konveksi, h_{ca} dihitung dengan persamaan:

$$h_{ca} = 5,7 + 3,8V_a \quad (5)$$

dengan V_a adalah kecepatan angin ($m/detik$). Energi yang diradiasikan air pendingin kaca atas ke lingkungan dihitung menggunakan:

$$q_{ra} = \frac{\sigma[(T_1 + 273,15)^4 - (T_2 + 273,15)^4]}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)} \quad (6)$$

dengan q_{ra} adalah radiasi ke lingkungan, q_{ra} (W/m^2), σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2.K^4)$), T_1 adalah temperatur air pendingin kaca, T_{wf} ($°C$), T_2 adalah temperatur langit, T_{sky} ($°C$), ϵ_1 adalah emisivitas air, ϵ_w dan ϵ_2 adalah emisivitas langit, ϵ_{sky} ($\epsilon_{sky} \approx 1$). Temperatur langit, T_{sky} adalah:

$$T_{sky} = T_a - 6 \quad (7)$$

dengan T_a adalah temperatur udara sekitar ($°C$). Energi yang diterima air dari absorber sebagian digunakan untuk proses penguapan, sebagian dikonveksikan dan diradiasikan ke kaca. Energi yang dikonveksikan dihitung menggunakan persamaan (3) dengan q adalah energi yang dikonveksikan ke kaca, q_c (W/m^2), h adalah koefisien konveksi, h_c ($W/(m^2.°C)$), T_1 adalah temperatur air, T_w ($°C$) dan T_2 adalah temperatur kaca, T_g ($°C$). Koefisien konveksi, h_c adalah:

$$h_c = \frac{Nu_H k_a}{H} \quad (8)$$

dengan Nu_H adalah bilangan Nusselt, k_a adalah konduktivitas termal udara ($W/(m.°C)$) dan H adalah jarak absorber kain dengan kaca (m). Bilangan Nusselt untuk dua permukaan datar paralel dengan kemiringan kurang dari 60° adalah:

$$Nu_H = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra_H \cos\theta} \right]^* \left[1 - \frac{1708 (\sin 1,8\theta)^{1,6}}{Ra_H \cos\theta} \right] + \left[\left(\frac{Ra_H \cos\theta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (9)$$

dengan θ adalah kemiringan permukaan ($^\circ$) dan Ra_H adalah bilangan Rayleigh. Energi yang berpindah dari air ke kaca secara radiasi dihitung menggunakan persamaan (6) dengan T_2 adalah temperatur kaca, T_g ($^\circ\text{C}$) dan ϵ_2 adalah emisivitas kaca, ϵ_g . Energi yang digunakan untuk penguapan dihitung dengan persamaan:

$$q_e = 16,273 \times 10^{-3} \cdot h_c \cdot (P_w - P_g) \quad (10)$$

dengan P_w dan P_g adalah tekanan parsial uap pada temperatur air dan kaca.

Air yang akan didestilasi dialirkan di absorber kain dari atas ke bawah. Temperatur air destilasi masuk ini umumnya lebih rendah dari temperatur rata-rata air di absorber sehingga masuknya air destilasi menyebabkan rugi energi ($q_{w,in}$) yang besarnya diperoleh dari:

$$q_{w,in} = \dot{m}_{w,in} C_{pw} (T_{w1} - T_w) \quad (11)$$

dengan $\dot{m}_{w,in}$ adalah laju alir massa air yang masuk ke destilasi (kg/detik), C_{pw} adalah kapasitas panas air (J/kg. $^\circ\text{C}$), T_{w1} adalah temperatur air yang masuk ke destilasi ($^\circ\text{C}$) dan T_w adalah temperatur air pada absorber.

Tidak semua air di absorber menguap, sebagian akan keluar dari absorber sebagai air panas. Hal tersebut juga merupakan kerugian energi ($q_{w,out}$) sebesar:

$$q_{w,out} = (\dot{m}_{win} - m_e) C_{pw} (T_{w2} - T_{w1}) \quad (12)$$

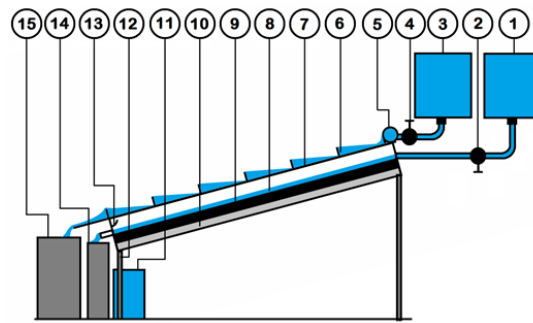
dengan \dot{m}_{win} adalah laju alir massa air destilasi masuk (kg/detik), m_e adalah air destilasi yang menguap (kg/detik), C_{pw} adalah kapasitas panas air (J/kg. $^\circ\text{C}$), T_{w1} adalah temperatur air destilasi masuk ($^\circ\text{C}$) dan T_{w2} adalah temperatur air destilasi keluar ($^\circ\text{C}$). Selain itu juga terdapat kerugian panas ke lingkungan karena adanya perbedaan temperatur antara alat destilasi dengan lingkungan. Besarnya kerugian panas dari dalam destilasi ke lingkungan diperoleh dari persamaan (3) dengan q adalah besar kerugian panas, q_l (W/m²), h adalah koefisien perpindahan panas total dari destilasi ke lingkungan, U_b (W/(m². $^\circ\text{C}$)), T_1 adalah temperatur absorber, T_b ($^\circ\text{C}$) dan T_2 adalah temperatur udara sekitar, T_a ($^\circ\text{C}$). Energi surya yang diteruskan kaca diserap absorber dan berpindah ke air pada absorber secara konveksi. Energi yang berpindah secara konveksi dari absorber ke air dihitung dengan persamaan (3) dengan q adalah konveksi dari absorber ke air, q_{cb} (W/m²), h adalah koefisien konveksi, h_{cb} (W/(m². $^\circ\text{C}$)), T_1 adalah temperatur absorber, T_b ($^\circ\text{C}$) dan T_2 adalah temperatur air di absorber, T_w ($^\circ\text{C}$)

3. Metode Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur tentang proses perpindahan panas konveksi antara permukaan kaca dengan air pendingin. Langkah kedua adalah membuat model matematis dan simulasi berdasar kesetimbangan energi menggunakan persamaan (1)–(12). Simulasi bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari beberapa parameter yang ikut menentukan proses pendinginan kaca penutup seperti sifat-sifat air, kaca, absorber, udara sekitar, bahan isolasi, besar energi surya harian dan parameter-parameter yang berhubungan dengan ukuran dan bentuk model destilasi seperti ukuran kaca, absorber dan kemiringan model destilasi. Langkah ketiga adalah pembuatan model (Gambar 1).

Bagian-bagian model alat destilasi yang dibuat terdiri dari: (1) tangki air masukan, (2) keran pengatur laju alir massa air masukan, (3) tangki air pendingin, (4) keran pengatur laju alir massa air pendingin, (5) pipa distribusi air pendingin, (6) penampung air pendingin, (7) kaca

penutup, (8) air yang didestilasi pada absorber, (9) absorber, (10) isolasi, (11) penampung air bersih hasil destilasi, (12) rangka pendukung, (13) talang penampung hasil pengembunan, (14) tangki air masukan yang tidak menguap dan (15) tangki penampung air pendingin. Pada tahap eksperimen parameter yang divariasikan pada penelitian ini adalah: laju massa air pendingin (sebanyak tiga variasi laju massa air pendingin) sedangkan parameter yang diukur pada penelitian ini secara eksperimen adalah: (1) temperatur absorber, (2) temperatur kaca penutup, (3) temperatur air pendingin, (4) temperatur air masukan, (5) temperatur udara sekitar, (6) hasil air destilasi, (7) energi surya yang datang dan (8) waktu pencatatan data.



Gambar 1. Model alat destilasi yang dibuat untuk tahap eksperimen

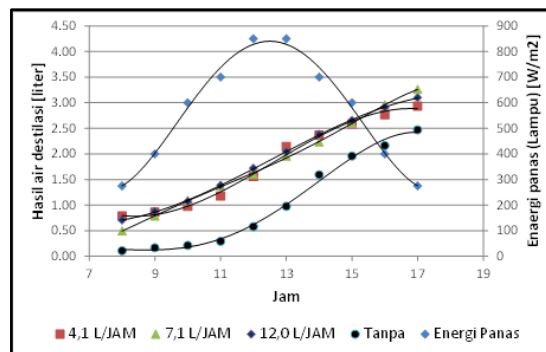
Penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan simulasi berdasarkan model matematis untuk memodelkan unjuk kerja alat destilasi (efisiensi dan hasil air destilasi), temperatur dan parameter lain yang mempengaruhi unjuk kerja destilasi dan tahap eksperimen. Simulasi dilakukan dengan menyusun model matematis dari model destilasi yang diteliti. Model matematis didasarkan pada kesetimbangan energi pada tiap bagian model destilasi air energi surya jenis absorber kain dengan pendingin kaca. Kesetimbangan energi disusun menggunakan persamaan (1)-(12) pada bagian dasar teori. Bagian-bagian model destilasi air energi surya jenis absorber kain dengan pendingin kaca pada penelitian ini terdiri dari: (1) air pendingin, (2) kaca, (3) air di absorber dan (4) absorber.

Bahan dan alat penelitian pada tahap eksperimen meliputi model alat destilasi air energi surya dan sensor serta alat ukur. Sensor dan alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) *pyranometer* untuk mengukur energi surya yang datang, (2) DS18B20 untuk mengukur temperatur, (3) *e-tape liquid level sensor* untuk mengukur air destilasi yang dihasilkan dan (4) *weather meter* untuk mengukur kecepatan angin. Selain itu diperlukan mikrokontroler untuk perekaman data, *wireless sensor node* untuk menerima data di komputer dan *wifi* untuk penghubung mikrokontroler dengan komputer. *Pyranometer* yang digunakan adalah SP Lite2 dengan spesifikasi: rentang spektral 400 sampai 1100 nm, sensitivitas 60-100 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$, respon waktu < 500 ns, respon temperatur < -0.15%/°C, temperatur operasional -40°C sampai +80°C dan radiasi surya maksimum 2000 W/m^2 . DS18B20 mempunyai rentang pengukuran -55°C sampai +125°C dengan pertambahan 0,5°C. Prinsip kerja *e-tape liquid level sensor* adalah berdasarkan perubahan tahanan karena tekanan hidrostatik. Jika sensor ini direndam dalam air/cairan maka akan mengakibatkan perubahan resistansi yang sesuai dengan jarak dari bagian atas sensor dengan permukaan cairan. Nilai resistansi dapat berubah dengan pertambahan tingkat ketinggian 1/32 inci (0,79mm). Jarak pengukuran maksimal adalah 30cm dan temperatur kerja -9 sampai +60°C. *Weather meter* yang digunakan adalah jenis SEN-08942. DHT22 yang digunakan dapat mengukur kelembaban antara 0-100% dengan akurasi 2-5%, pembacaan temperatur antara -40 sampai 80°C dengan akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$ dan periode pembacaan data minimal 2 detik. Mikrokontroler yang digunakan adalah Seeeduino Stalker V2 (Atmega328) dengan rentang temperatur kerja -40°C sampai +85°C, sumber daya baterai lithium, jumlah I/O sebanyak 20, input ADC sebanyak 4 (ADC0~ADC3), konektivitas menggunakan UART, dilengkapi chip *Real Time Clock* (RTC) dan

socket microSD. *Wireless sensor node* yang digunakan adalah jenis *xbee carrier*. Wifi yang digunakan adalah *xbee pro* dengan maksimum data transfer 250 kbps dan jangkauan pancar 1500 m.

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan di dalam laboratorium, sebagai sumber panas digunakan lampu infra red sebanyak 6 buah untuk tiap model. Daya maksimal tiap lampu infrared sebesar 275 watt. Daya lampu dikontrol dengan timer dan dimer sehingga dapat mengikuti daya matahari tiap hari yakni pagi sampai tengah hari makin besar dan dari tengah hari ke sore semakin berkurang. Tiap pengujian diuji dua model dengan salah satu model sebagai pembanding. Parameter yang divariasikan dalam penelitian ini adalah laju air pendingin. Variasi laju air pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4,1 liter/jam, 7,1 liter/jam dan 12,0 liter/jam. Hasil perbandingan variasi fluida pendingin dapat dilihat pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 10.

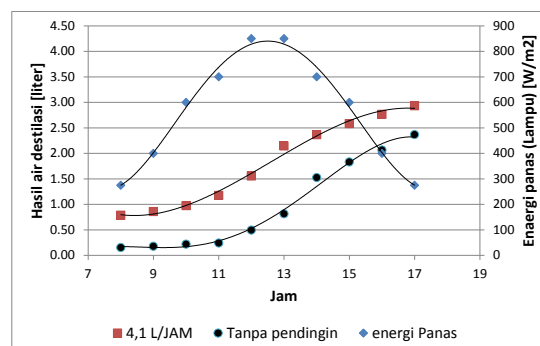


Gambar 2. Perbandingan hasil air model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada semua variasi laju air pendingin

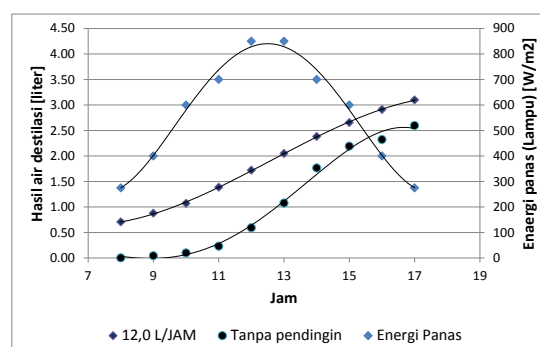
Dari Gambar 2 dapat terlihat hasil air destilasi secara akumulatif selama 10 jam pengambilan data. Hasil air destilasi untuk tiap model adalah 2,93 liter pada model dengan laju air pendingin 4,1 liter/jam, 3,26 liter untuk model dengan laju air pendingin 7,1 liter/jam, 3,10 liter untuk model dengan laju air pendingin 12,0 liter/jam dan 2,47 liter untuk model destilasi tanpa menggunakan air pendingin. Perbedaan hasil tersebut disebabkan karena beda temperatur antara absorber dengan kaca yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 6. Beda temperatur antara absorber dengan kaca untuk model destilasi dengan laju air pendingin 7,1 liter/jam merupakan yang terbesar yakni 11,4°C, untuk model dengan laju air pendingin 4,1 liter/jam sebesar 5,7°C, untuk model dengan laju air pendingin 12,0 liter/jam sebesar 5,2°C dan untuk model tanpa air pendingin sebesar 5,2°C. Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 adalah perbandingan hasil air model destilasi dengan dan tanpa air pendingin untuk setiap variasi laju air pendingin.

Gambar 6 menunjukkan beda temperatur antara absorber dengan kaca untuk tiap variasi laju air pendingin yang digunakan. Beda temperatur antara absorber dengan kaca merupakan faktor penting yang menentukan hasil air destilasi yang diperoleh. Semakin besar beda temperatur antara fluida pendingin dengan kaca, semakin banyak air destilasi yang diperoleh. Hal tersebut disebabkan karena proses penguapan pada destilasi terjadi dengan tiga cara yakni secara konveksi, difusi dan purging. Cara konveksi dipengaruhi oleh beda temperatur antara absorber dengan kaca, cara difusi dipengaruhi oleh beda konsentrasi uap di absorber dengan di sekitar kaca dan cara purging dipengaruhi oleh beda tekanan parsial uap antara di absorber dengan di kaca. Dari ketiga cara tersebut, cara konveksi merupakan cara yang paling dominan sehingga proses penguapan secara umum ditentukan oleh beda temperatur antara di absorber dengan di kaca.

Perbedaan temperatur tersebut diantaranya ditentukan oleh temperatur kaca. Semakin rendah temperatur kaca, semakin besar beda temperatur antara absorber dengan kaca (pada temperatur absorber yang sama). Perbedaan temperatur kaca ditentukan oleh proses pendinginan sehingga diantaranya ditentukan oleh luasan kontak air pendingin dengan kaca, lama waktu pendinginan dan oleh sifat-sifat fluida pendingin. Semakin lama waktu pendinginan semakin banyak panas yang dapat diambil oleh air pendingin. Penelitian ini menggunakan kaca penutup berpenampung air, karenanya waktu pendinginan yang dihasilkan akan jauh lebih lama dibandingkan kaca penutup yang tidak berpenampung. Hal tersebut disebabkan air pendingin akan mengalir diatas permukaan kaca dengan sangat cepat ke bagian bawah penutup kaca. Selain itu dengan adanya penampung luasan kaca yang terbasahi oleh air pendingin akan jauh lebih besar dibandingkan penutup kaca yang tidak mempunyai penampung. Fluida pendingin yang digunakan adalah air dan untuk model destilasi tanpa fluida pendingin maka fluida pendinginnya adalah udara. Dari hasil pengukuran temperatur kaca pada laju air pendingin 4,1 liter/jam diperoleh temperatur kaca rata-rata selama 10 jam pengambilan data adalah 56,5°C, untuk model dengan laju air pendingin 7,1 liter/jam adalah 52,9°C, untuk model dengan laju air pendingin 12,1 liter/jam adalah 52,5°C dan untuk model dengan fluida pendingin udara (tanpa air pendingin) adalah 53,8°C. Sifat-sifat fluida pendingin yang menentukan efektivitas pendinginan adalah kapasitas panas, viskositas dan konduktivitas termal. Semakin besar ketiga sifat tersebut semakin efektif fluida pendingin mendinginkan kaca. Kapasitas panas menentukan jumlah energi panas yang dapat ditampung oleh fluida pendingin. Semakin besar kapasitas panas, semakin banyak energi panas yang dapat ditampung/diambil oleh fluida pendingin. Viskositas akan menentukan luasan kaca yang terbasahi dan waktu pendinginan. Semakin besar viskositas, semakin luas dan lama waktu pendinginan. Konduktivitas termal menentukan kecepatan proses pendinginan. Semakin besar konduktivitas termal semakin cepat energi panas dapat berpindah kedalam fluida pendingin.

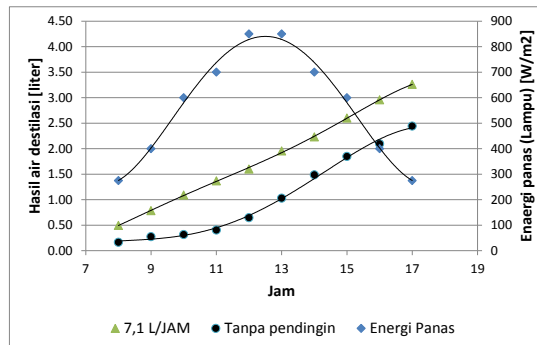


Gambar 3. Perbandingan hasil air model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada variasi laju air pendingin 4,1 liter/jam

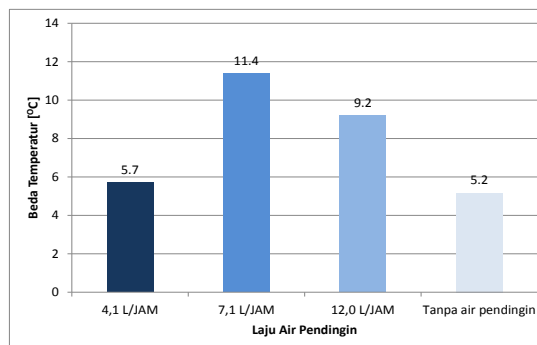


Gambar 4. Perbandingan hasil air model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada variasi laju air pendingin 12,0 liter/jam

Hasil air destilasi yang lebih besar akan menghasilkan efisiensi yang lebih besar. Hal tersebut disebabkan efisiensi adalah perbandingan jumlah energi untuk penguapan dibagi total energi panas yang diterima destilasi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 7. Dari Gambar 7 terlihat efisiensi rata-rata untuk semua variasi laju air pendingin adalah 36,85%, untuk model dengan laju air pendingin 4,1 liter/jam, 41,0%, untuk model dengan laju air pendingin 7,1 liter/jam, 38,9%, untuk model dengan laju air pendingin 12,1 liter/jam dan 31,0%, untuk model dengan fluida pendingin udara (tanpa fluida pendingin).

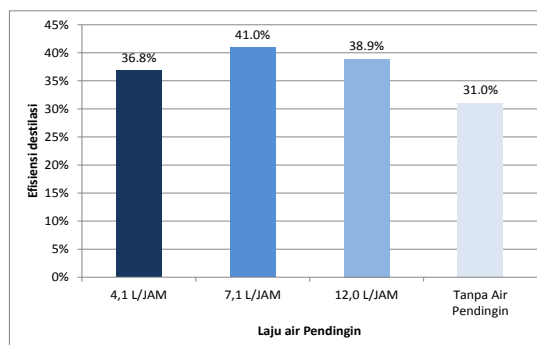


Gambar 5. Perbandingan hasil air model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada variasi laju air pendingin 7,1 liter/jam



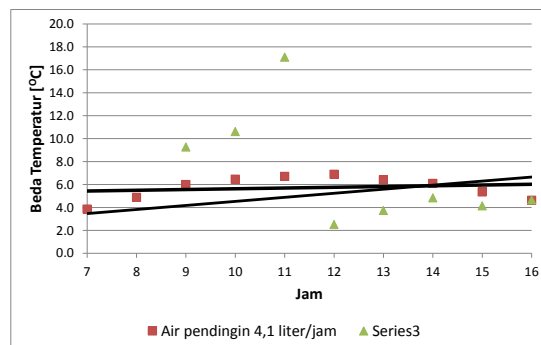
Gambar 6. Perbandingan beda temperatur absorber dengan kaca model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada semua variasi laju air pendingin

Hal yang menarik dari beda temperatur antara absorber dengan kaca tiap jam ditunjukkan Gambar 8, 9 dan Gambar 10. Pada pengambilan data selama 10 jam terlihat kecenderungan (ditunjukkan dengan garis *trend line* hitam) perbedaan temperatur antara absorber dengan kaca pada semua variasi laju air pendingin dengan model destilasi tanpa fluida pendingin memiliki nilai optimal.



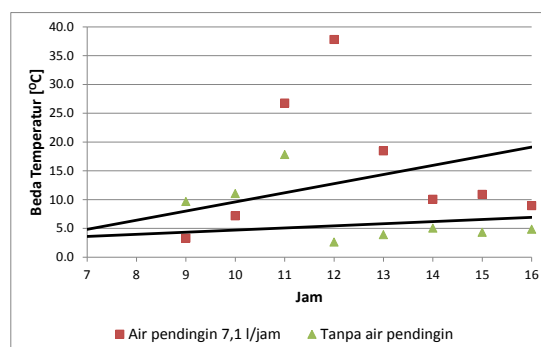
Gambar 7. Perbandingan rata-rata efisiensi harian model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada semua variasi laju air pendingin

Pada laju air pendingin 4,1 liter/jam beda temperatur antara absorber dengan kaca pada model destilasi yang menggunakan air pendingin dengan model destilasi yang tidak menggunakan air pendingin hampir sama. Hal tersebut menyebabkan hasil air destilasi dan efisiensi rata-rata harian yang diperoleh juga sama. Gambar 8 juga memperlihatkan pada waktu-waktu terakhir pengambilan data (sore hari) justru beda temperatur model destilasi yang tidak menggunakan air pendingin sedikit lebih besar dibandingkan yang menggunakan air pendingin. Hal tersebut dapat disebabkan pada sore hari ketika energi panas yang diterima alat destilasi tidak banyak, udara dapat mendinginkan kaca lebih baik dari air. Hal tersebut dapat terjadi karena difusifitas panas air yang tidak besar sehingga temperatur air yang berkontak dengan permukaan kaca lebih besar dibandingkan temperatur udara. Akibatnya konveksi energi panas dari kaca ke lingkungan dengan udara lebih baik dibandingkan air.



Gambar 8. Perbandingan beda temperatur antara absorber dengan kaca model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada variasi laju air pendingin 4,1 liter/jam

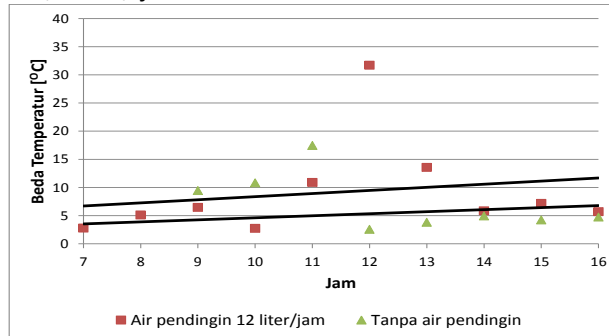
Gambar 9 memperlihatkan beda temperatur antara absorber dengan kaca pada laju air pendingin 7,1 liter/jam. Terlihat dengan laju air pendingin 7,1 liter/jam diperoleh beda temperatur antara absorber dengan kaca yang lebih baik dibandingkan laju air pendingin 4,1 liter/jam. Akibatnya hasil air destilasi dan efisiensi rata-rata tiap jam yang diperoleh juga lebih baik. Pada sore hari beda temperatur antara absorber dengan kaca pada destilasi yang menggunakan air pendingin juga lebih baik dibandingkan model destilasi tanpa air pendingin. Hal tersebut disebabkan perpindahan panas konveksi dari kaca dengan air pendingin lebih baik dibandingkan dengan udara. Perpindahan panas konveksi yang lebih baik disebabkan koefisien konveksi menggunakan air pendingin lebih besar dibandingkan menggunakan udara karena salah satu penentu besar koefisien konveksi adalah laju fluida.



Gambar 9. Perbandingan beda temperatur antara absorber dengan kaca model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada variasi laju air pendingin 4,1 liter/jam 7,1 liter/jam

Gambar 10 memperlihatkan beda temperatur antara absorber dengan kaca pada laju air pendingin 12,0 liter/jam. Terlihat dengan laju air pendingin 12,0 liter/jam diperoleh beda

temperatur antara absorber dengan kaca yang lebih rendah dibandingkan laju air pendingin 7,1 liter/jam. Akibatnya hasil air destilasi dan efisiensi rata-rata tiap jam yang diperoleh juga lebih rendah. Hal tersebut disebabkan laju air pendingin yang terlalu besar akan mengambil bukan hanya energi panas di kaca tetapi juga dari dalam kotak destilasi. Hal tersebut akan mengganggu proses penguapan karena pada proses penguapan juga diperlukan energi panas. Dengan kata lain pada pendinginan kaca untuk memperoleh temperatur kaca yang rendah agar proses pengembunan dapat lebih baik terdapat besar laju air pendinginan optimal. Artinya apabila laju air pendingin diperbesar lagi dari nilai optimal tersebut justru akan menyebabkan penurunan hasil air destilasi. Dalam penelitian ini laju air pendingin yang optimal adalah sebesar 7,1 liter/ jam.



Gambar 10. Perbandingan beda temperatur antara absorber dengan kaca model destilasi dengan dan tanpa air pendingin pada variasi laju air pendingin 4,1 liter/jam 12,0 liter/jam

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini secara umum adalah:

1. Hasil air destilasi terbanyak yang diperoleh adalah sebesar 3,26 liter/(hari.m²) dengan efisiensi rata-rata 41,0%.
2. Hasil air destilasi dan efisiensi terbaik diperoleh pada laju air pendingin sebesar 7,1 liter/jam
3. Beda temperatur antara absorber dengan kaca terbesar adalah 11,4°C

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat yang telah membiayai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] T. Arunkumar, R. Jayaprakash, A. Prakash, P. Suneesh and M. Karthi, "Study of thermo physical properties and an improvement in production of distillate yield in pyramid solar still with boosting mirror," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 8, pp. 879-884, August 2010.
- [2] M. A. A. E. K. Mona M. Naim, "Non-conventional solar stills Part 1. Non-conventional solar stills with charcoal particles as absorber medium," *Desalination*, vol. 153, pp. 55-64, 2002.
- [3] A. H. K. F. S. a. F. A. Ahmed Z Al-Garni, A. Z. Al-Garni, A. H. Kassem, F. Saeed and F. Ahmed, "Effect of glass slope angle and water depth on productivity of double slope solar still," *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 70, pp. 884-890, October 2011.
- [4] D. P. K. S. Hitesh N Panchal, "Effect of Varying glass cover thickness on performance of Solar still: in a Winter Climate Conditions," *International Journal Of Renewable Energy Research*, vol. 1, no. 4, pp. 212-223, 2011.
- [5] G. T. Anil Kr. Tiwari, "Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition," *Desalination*, vol. 195, p. 78-94, 2006.
- [6] S. N. Pr. Kaabi Abdenacer, "Impact of temperature difference (water-solar collector) on solar-still global efficiency," *Desalination*, vol. 209, p. 298-305, 2007.
- [7] A. A. A.-H. I. A. E. S. M. Z. O. Ali A. Badran, "A solar still augmented with a flat-plate collector," *Desalination*, vol. 172, p. 227-234, 2005.

-
- [8] P. M. M. S. I. Mitesh I. Patel, "Effect of dye on distillation of a single slope active solar still coupled with evacuated glass tube solar collector," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 1, no. 3, pp. 456-460.
- [9] S. M. E. Hassan E.S. Fath, "Effect of adding a passive condenser on solar still performance," *Energy Conversion and Management*, vol. 34, no. 1, pp. 63-72, January 1993.
- [10] M. A. Arabi, Y. Zurigat, H. Al-Hinai and S. Al-Hiddabi, "Modeling and performance analysis of a solar desalination unit with double-glass cover cooling," *Desalination*, vol. 143, pp. 173-182, 2002.
- [11] B. Janarthanan, J. Chandrasekaran and S. Kumar, "Performance of floating cum tilted-wick type solar still with the effect of water flowing over the glass cover," *Desalination*, vol. 190, pp. 51-62, 2006.
- [12] B. A. Abu-Hijleh, "Enhanced solar still performance using water film cooling of the glass cover," *desalination*, vol. 107, pp. 235-244, 1996.
- [13] B. A. Abu-Hijleh and H. A. Mousa, "Water film cooling over the glass cover of a solar still including evaporation effects," *Energy*, vol. 22, pp. 43-48, 1997.
- [14] H. M. Ahmed and K. A. Alfaylakawi, "Productivity enhancement of conventional solar still using water sprinklers and cooling fan," *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, vol. 2, no. 3, pp. 168-177, 2012.
- [15] M. Rajamanickam and A. Ragupathy, "Enhanced performance of a single basin double slope solar still with thin film of water flowing over the cover plate," *Journal of Energy Technologies and Policy*, vol. 3, no. 1, 2013.
- [16] A. K. Rai, N. Singh and V. Sachan, "Experimental study of a single basin solar still with water cooling of the glass cover," *International Journal of Mechanical Engineering and Technologies*, vol. 4, no. 6, pp. 01-07, 2013.