

Destilasi air energy surya dengan *energy recovery* menggunakan metode kapilaritas

I Gusti Ketut Puja^{1)*}, Sudi Mungkasi²⁾ dan FA Rusdi Sambada³⁾

^{1,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma, Kampus III Paingan Yogyakarta

²⁾Jurusan Matematika Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

Abstrak

Penelitian ini bertujuan membuat prototipe alat destilasi energi surya sederhana menggunakan *energy recovery* dengan metode kapilaritas untuk masyarakat di daerah yang kesulitan dalam mendapatkan air minum. Alat destilasi air energi surya yang akan dibuat harus memenuhi kriteria (1) dapat menghasilkan air yang layak dikonsumsi dengan kapasitas yang memadai untuk satu keluarga (sekitar 6,5 liter/ hari), (2) tidak memerlukan banyak perawatan, mudah dioperasikan dan dirawat oleh masyarakat dan (3) mampu dibuat dengan teknologi yang ada di daerah. Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi adalah konsentrasi kelebihan uap pada alat destilasi selama proses penguapan air. Penggunaan kondensor pasif sebagai *energy recovery* adalah salah satu cara yang efektif dan efisien untuk mengatasi masalah konsentrasi uap berlebih. Perbedaan kinerja destilasi air energi surya dengan dan tanpa penambahan sistem pemulihan energi telah diselidiki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil air destilasi terbanyak pada variasi tanpa menggunakan pendingin kaca dan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm yakni 4,38 liter/ (m².hari). Efisiensi maksimum dan efisiensi rata-rata yang diperoleh pada variasi ini adalah 49,6% dan 44,6%. Prosentase uap maksimum dari bak yang dapat masuk kedalam kondensor sebesar 38% yakni pada variasi menggunakan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm. Prosentase pemanfaatan panas pengembunan (*heat recovery*) maksimum dari uap yang masuk kedalam kondensor sebesar 96% yakni pada variasi menggunakan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm

Kata kunci: destilasi air, energisurya, efisiensi, *energy recovery*

Abstract

This research aims to develop a prototype of simple solar energy distillation using capillarity methods of *energy recovery* for the communities' who have difficulty in getting drinking water. Solar energy water distillation equipment to be made must meet the criteria: (1) can produce water suitable for consumption with sufficient capacity for a small family (about 6.5 liters per day), (2) easily operated and maintained by the community, and (3) able to be made with existing technology in the area. One of the factors that greatly affect the efficiency is the concentration of excess steam in the distillation apparatus during the process of evaporation of water. The use of passive condenser as an *energy recovery* system is one of the effective and efficient way to overcome the problem of the excess vapor concentration. The differences in performance of the solar energy distillation with and without the addition of *energy recovery* system were investigated. The results showed that the distilled water results mostly in variations without using a cooling glass and reflector with a height of 0.5 cm of water tub that is 4.38 liters / (m².hari). Maximum efficiency and average efficiency obtained in this variation are respectively 49.6% and 44.6%. The maximum percentage of steam from the bath to get into the condenser by 38%, occur in the variation using a reflector with a height of 0.5 cm of water tub. Percentage of utilization of condensation heat (*heat recovery*) maximum of vapor into the condenser is about 96% occur in the variation using a reflector with a height of 0.5 cm of water tub

Keywords: water distillation, solar energy, efficiency, *energy recovery*

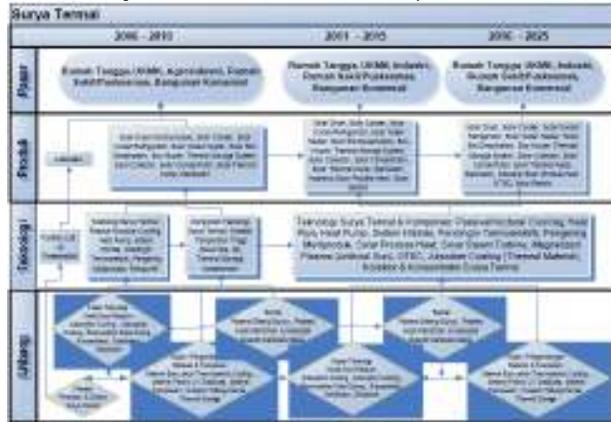
1. Pendahuluan

Di Indonesia masalah ketersediaan air minum semakin hari semakin dirasakan baik oleh masyarakat di perkotaan terutama di daerah-daerah terpencil. Sumber air yang ada sering telah terkontaminasi oleh tanah, garam (air laut) atau bahan lain yang dapat merugikan kesehatan jika dikonsumsi secara langsung. Masyarakat umumnya harus membeli air untuk minum. Pada musim hujan, masyarakat di daerah-daerah terpencil memanfaatkan air hujan untuk air minum. Pemenuhan kebutuhan air minum dengan cara membeli akan berdampak pada turunnya tingkat kesejahteraan. Pemanfaatan air hujan untuk air minum dapat merugikan kesehatan. Sebenarnya ada cara penjernihan air terkontaminasi yang dapat dilakukan sendiri oleh masyarakat diantaranya dengan menggunakan destilasi air energi surya. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya cukup baik dengan radiasi harian

energi surya rata-rata 4,8 kWh/m². Potensi energi surya sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan hal ini disebabkan harga energi terbarukan belum kompetitif dibandingkan dengan harga energi fosil sebagai akibat belum dikuasainya teknologi dan belum dilaksanakannya kebijakan harga energi yang mendorong pengembangannya [1]. Peta rencana kegiatan penelitian, pengembangan, dan penerapan iptek sector energi surya yang merupakan bagian dari biang sumber energi baru dan terbarukan dapat dilihat pada Gambar 1. Dalam peta rencana kegiatan penelitian, pengembangan, dan penerapan Iptek sector energi surya tersebut destilasi air energi surya (*desalination/ solar still*) merupakan salah satu produk yang akan dikembangkan sampai 2025 [2]. Alat destilasi air energi surya tidak memerlukan biaya tinggi dalam pembuatan serta pengoperasiannya [3]. Alat destilasi air energi surya konvensional umumnya berbentuk kotak dan disebut kotak destilator. Kotak destilator terdiri dari 2 (dua) komponen utama yakni

*Korespondensi: Tel./Fax.: -
E-mail: ketut@usd.ac.id

bak air dan kaca penutup. Bak air berfungsi menyerap energi surya untuk menguapkan air sehingga air terpisah dari zat yang mengkontaminasinya. Kaca penutup berfungsi sebagai tempat mengembunnya uap air sehingga dihasilkan air bersih yang langsung dapat dikonsumsi. Alat destilasi energi surya konvensional umumnya dapat menghasilkan air bersih sekitar 3 liter per hari tiap satu meter persegi luasan alat (pada energi surya rata-rata 700 W/m^2 , lama destilasi 6 jam dan efisiensi alat 50%).



Gambar1. Petarencanakegiatanpenelitian, pengembangan, danpenerapanipteksektorenergisurya (suryatermal).

Penelitian secara eksperimental destilasi air energy surya menggunakan *energy recovery* dapat meningkatkan efisiensi sebesar 94% jika dibandingkan destilasi air energy surya konvensional. Efisiensi yang dicapai sebesar 67% dengan hasil air destilasi sebanyak $4,86 \text{ L/m}^2$.hari [4]. Analisis teoritis alat destilasi air energy surya menggunakan *energy recovery* tiga tingkat dengan metode difusi yang dihubungkan dengan pipa panas (*heat pipe*) diperkirakan hasil air destilasi sebanyak $21,8 \text{ kg/m}^2$.hari dengan asumsi energy surya sebesar $22,4 \text{ MJ/m}^2$.hari [5]. Studi parametric pada destilasi air energy surya vertical jenis difusi dengan variasi tingkat difusi diperkirakan dapat menghasilkan air destilasi antara 18 sampai $21,5 \text{ kg/m}^2$.hari hasil air destilasi secara eksperimental sangat bergantung pada kualitas pembuatan alat. Pembuatan yang kurang baik dapat menyebabkan kerugian panas dan menurunkan produksi air destilasi sampai 50% dari perkiraan secara teoritis [6]. Analisis transien berdasarkan kesetimbangan energy tiap komponen pada destilasi air energy surya menggunakan *energy recovery* metode bak satu tingkat diperkirakan dapat menghasilkan air destilasi sebanyak $10,7 \text{ kg/m}^2$.hari [7]. Destilasi air energy surya menggunakan *energy recovery* dua tingkat metode bak air menghasilkan efisiensi 62% lebih tinggi jika dibandingkan destilasi air energy surya konvensional. Tingkat pertama memberikan kontribusi sebesar 22% sementara tingkat kedua 18% pada total air destilasi yang dihasilkan [8]. Penelitian secara teoritis dan eksperimental menggunakan kondensor pasif di bagian belakang menghasilkan kenaikan efisiensi sebesar 50% [9]. Penelitian destilasi air energy surya dengan kondensor pasif menghasilkan efisiensi yang berbeda pada posisi kondensor yang berbeda. Posisi kondensor di bagian atas alat destilasi menghasilkan

efisiensi 15,1% sementara pada posisi di bawah dihasilkan efisiensi 30,54%. [11]. Penelitian destilasi energi surya dengan posisi kondensor dibagian bawah destilator dan posisi destilator miring menghasilkan kenaikan efisiensi yang cukup baik sehingga dapat menghasilkan air destilasi sebanyak $5,1 \text{ kg/(m}^2$.hari). Posisi alat destilasi yang miring menyebabkan terjadinya sirkulasi alami udara yang mendorong uap air ke kondensor dibagian bawah. Pada alat destilasi dengan posisi miring berpindahannya uap air disebabkan oleh beda tekanan destilator dengan kondensor dan sirkulasi alami [11]. Penelitian secara teoritis dan eksperimental menggunakan kondensor pasif di bagian belakang menghasilkan kenaikan efisiensi sebesar 48% sampai 70% jika kondensor mengalami pendinginan [13]. Penelitian eksperimental pada destilasi air energy surya vertikal di Aljasair menghasilkan air destilasi sebanyak $0,275$ sampai $1,31 \text{ L/m}^2$.hari dengan radiasi surya bervariasi antara $8,42$ sampai $14,71 \text{ MJ/ hari}$. efisiensi yang dihasilkan bervariasi antara $7,85$ sampai $21,19\%$ [13]. Penelitian pada sebuah alat destilasi air energy surya vertikal jenis tak langsung di Aljasair dapat menghasilkan air destilasi antara $0,863$ sampai $1,323 \text{ L/m}^2$. hari dan efisiensi antara $47,69\%$ sampai $57,85\%$ dengan energi surya antara $19,15$ sampai $26,08 \text{ MJ/m}^2$. hari [14]. Penambahan kondensor pasif tanpa *energy recovery* dapat meningkatkan efisiensi dari 70% (tanpa kondensor pasif) menjadi 75% (dengan kondensor pasif). Kemiringan kaca yang digunakan 4° dan hasil air destilasi sebesar 7 L/m^2 .hari [15]. Penelitian secara eksperimental alat destilasi air energy surya vertical tanpa *energy recovery* di Aljasair menghasilkan air destilasi sebanyak $0,5$ sampai $2,3 \text{ kg/m}^2$.hari [16].

Permasalahan yang ada pada alat destilasi air energy surya saat ini adalah masih rendahnya efisiensi yang dihasilkan. Rendahnya efisiensi diantaranya disebabkan terjadinya kerugian kalor. Kerugian kalor terjadi karena temperature dalam kotak destilator lebih tinggi dibandingkan temperature sekitar. Perbedaan temperature ini menyebabkan aliran kalor keluar kotak destilator. Kerugian kalor dapat dibedakan menjadi dua jenis, pertama adalah kerugian kalor karena kurang baiknya bahan isolasi atau tidak rapatnya kotak destilator dan kedua adalah kerugian kalor pada saat proses pengembunan uap air. Pada proses pengembunan, uap air melepaskan kalor kelingkungan melalui kaca penutup agar dapat mengembun. Salah satu cara meningkatkan efisiensi alat destilasi air energy surya adalah memperkecil kerugian kalor pada saat proses pengembunan uap air dengan memanfaatkan energy panas yang dilepas uap air saat proses pengembunan untuk menguapkan air pada tingkat berikutnya cara ini disebut dengan *energy recovery*. *Energy recovery* memerlukan komponen tambahan pada alat destilasi yakni kondensor pasif. Kondensor pasif umumnya berupa kotak yang terletak dibagian belakang kotak destilator. Penggunaan kondensor pasif pada alat destilasi menyebabkan sebagian uap air hasil proses penguapan dalam kotak destilator akan mengalir kedalam kondensor pasif. Uap air yang masuk kedalam kondensor pasif digunakan untuk menguapkan air didalam kondensor pasif. Kalor uap air hasil penguapan dalam kondensor

pasif dapat langsung dibuang ke sekitar (*energy recovery*).

Pada penelitian ini digunakan metode kapilaritas pada kondensor pasif untuk memanfaatkan energy terbang (*energy recovery*) Variabel-variabel yang mempengaruhi efisiensi diteliti, diantaranya: jumlah massa air dalam alat destilasi (jumlah massa air mempengaruhi temperatur air), pemanfaatan pendingin kaca, serta penggunaan reflektor.

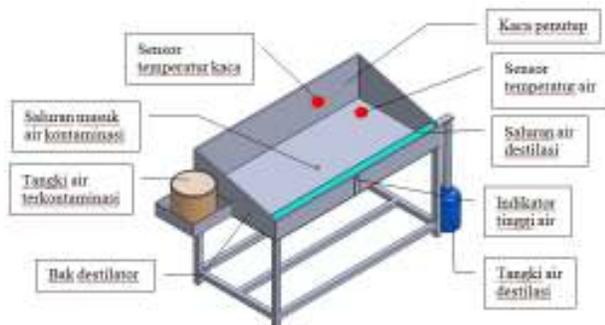
2. Metode Penelitian

Alat destilasi air energy surya pada penelitian ini terdiri dari 2 (dua) konfigurasi yaitu (1) Alat destilasi konvensional/tanpa kondensor (**Error! Reference source not found.**), dan (2) Alat destilasi menggunakan kondensor pasif yang dilengkapi energy recovery (**Error! Reference source not found.**) metode kapilaritas satu tingkat (Gambar 3b). dan (3) Alat destilasi menggunakan kondensor pasif yang dilengkapi energy recovery (Gambar 3) metode bak dua tingkat (Gambar 4b). Parameter yang divariasikan adalah ketinggian air dalam bak destilator (5 dan 10 mm), serta kombinasi penggunaan reflektor dan pendingin kaca. Variabel yang diukur diantaranya adalah temperatur air (T_w), temperature kaca penutup (T_c), jumlah massa air destilasi yang dihasilkan di alat destilasi (m_{bak}), jumlah massa air destilasi yang dihasilkan di bagian kondensor (m_{kond}), jumlah massa air yang dihasilkan dari kain hasil energy recovery (m_{kain}), energi surya yang datang (G) dan lama waktu pencatatan data (t)

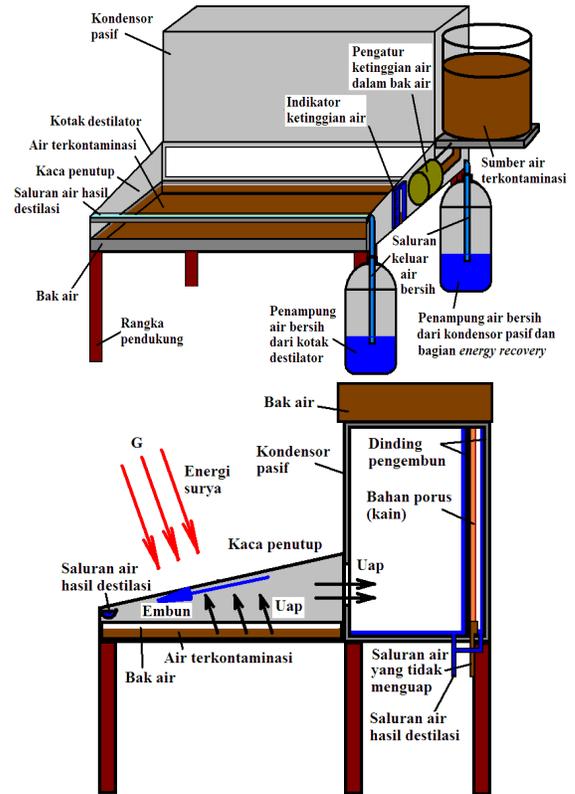
Untuk pengukuran temperature digunakan sensor temperature jenis DS18 (*Dallas Semiconductor*), dan untuk pengukuran intensitas energi surya yang datang menggunakan *solar cell* yang telah dikalibrasi dengan *pyranometer*. Volume air tampung di deteksi dengan sensor ketinggian level air jenis kapasitif. Sensor-sensor tersebut dikopel dengan *microcontroller* Arduino 1.5.2. Perikaman data dilakukan oleh system setiap sepuluh detik

Perbandingan massa uap air yang masuk ke dalam kondensor pasif dengan massa uap air yang dihasilkan pada kotak destilator dibandingkan dengan perbandingan volume kondensor pasif dengan jumlah volume kondensor pasif dan kotak destilator [9]:

$$\frac{m_{uap\ kondensor}}{m_{uap\ destilator}} = \frac{Volume_{kondensor}}{Volume_{kondensor} + Volume_{destilator}} \quad (1)$$



Gambar 2. Skema alat destilasi energy surya konvensional



Gambar 3. Skema alat destilasi energy surya dengan kondensor pasif (a) dan tampak samping alat destilasi energy surya dilengkapi energy recovery metode kapilaritas satu tingkat (b)

Uap air yang masuk ke dalam kondensor pasif akan mengembun karena melepaskan panas ke dinding kondensor pasif dan ke dinding pengembun pada bagian *energy recovery*. Energi panas yang diterima dinding pengembun pada bagian *energy recovery* digunakan untuk menguapkan air yang ada di bak air tersebut. Efisiensi alat destilasi energi surya didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah energi yang digunakan dalam proses penguapan air dengan jumlah radiasi surya yang datang selama waktu tertentu [17]:

$$\eta = \frac{m_g \cdot h_{fg}}{A_c \int_0^t G \cdot dt}$$

dengan A_c adalah luas alat destilasi (m^2), t adalah lama waktu pemanasan (detik), G adalah energi surya yang datang (W/m^2), h_{fg} adalah panas laten air ($J/(kg)$) dan m_g adalah massa uap air total (kg). Massa uap air (m_g) dapat diperkirakan dengan persamaan matematis berikut [17]:

$$m_g \cdot h_{fg} = q_{uap} = 16,27 \times 10^{-3} \cdot q_{konv} \cdot \left(\frac{P_w - P_c}{T_w - T_c} \right)$$

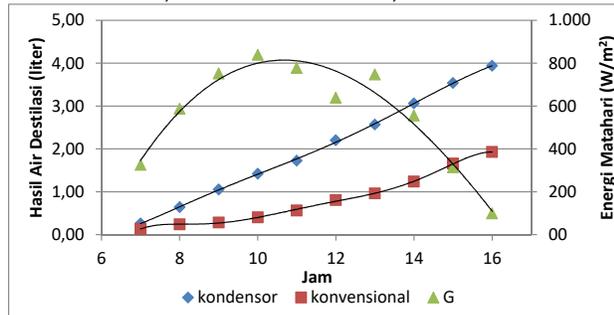
$$q_{konv} = 8,84 \times 10^{-4} \left[(T_w - T_c) + \frac{P_w - P_c}{268,9 \times 10^3 - P_w} \cdot T_w \right]^{1/3} \cdot (T_w - T_c)$$

Dengan q_{uap} adalah bagian energi surya yang digunakan untuk proses penguapan (W/m^2), q_{konv} bagian energi surya yang hilang karena konveksi

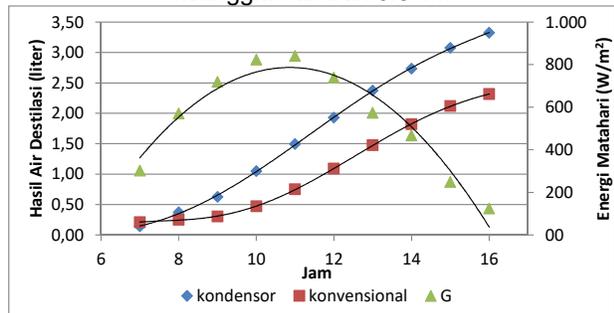
(W/m^2), P_w adalah adalah tekanan parsial uap air pada temperatur air (N/m^2), P_c adalah tekanan parsial uap air pada temperatur kaca penutup (N/m^2), T_w adalah temperatur air ($^{\circ}C$) dan T_c adalah temperatur kaca penutup ($^{\circ}C$).

3. Hasil dan Pembahasan

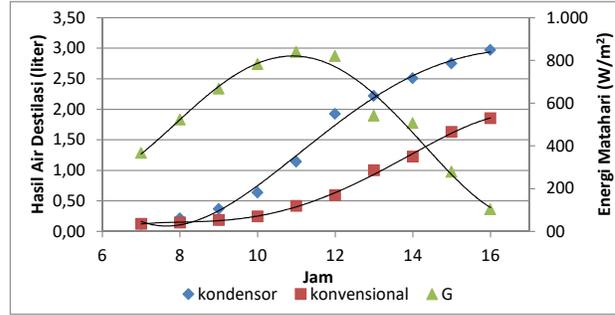
Gambar 4 sampai Gambar 8 adalah grafik rata-rata hasil air destilasi yang diperoleh dari alat destilasi berkondensor pasif (kondensor) dan alat destilasi konvensional (konvensional) untuk semua variasi. Harga intensitas energi surya dan hasil air destilasi pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 8 merupakan rata-rata tiap jam dari pengukuran alat ukur yang mencatat intensitas energi surya dan hasil air destilasi tiap 10 detik. Dari Gambar 4 sampai Gambar 8 terlihat hasil air destilasi terbanyak diperoleh dari variasi tanpa menggunakan pendingin kaca dan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm yakni 3,94 liter/ ($0,9 m^2.hari$) untuk alat destilasi berkondensor dan 1,93 liter/ ($0,9 m^2.hari$) untuk alat destilasi konvensional. Hasil tersebut dapat dinyatakan untuk tiap satu meter persegi luas alat yakni 4,38 liter/ ($m^2.hari$) untuk alat destilasi berkondensor dan 2,14 liter/ ($m^2.hari$) untuk alat destilasi konvensional. Efisiensi yang diperoleh alat destilasi dengan kondensor pasif pada variasi tanpa menggunakan pendingin kaca dan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm juga merupakan yang terbaik diantara variasi yang lain yakni maksimum 49,6% dan rata-rata 44,6%.



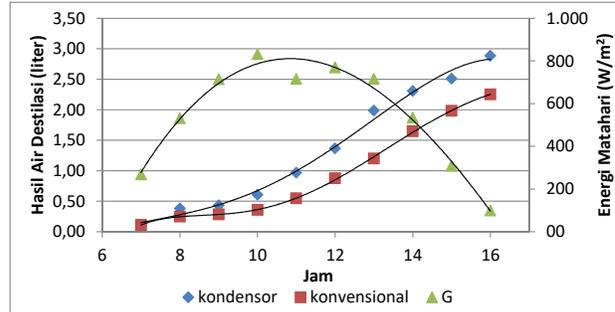
Gambar 4. Hasil air destilasi pada variasi tidak menggunakan pendingin kaca dan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm



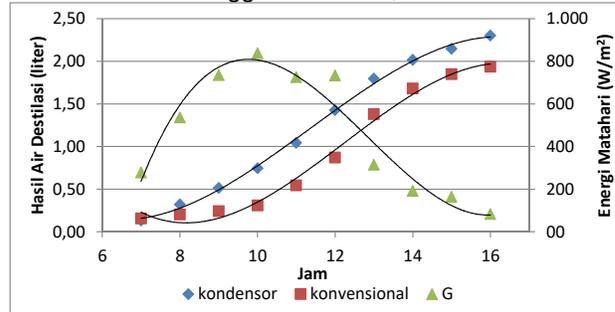
Gambar 5. Hasil air destilasi pada variasi menggunakan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm



Gambar 6. Hasil air destilasi pada variasi menggunakan pendingin kaca dengan ketinggian air bak 0.5 cm

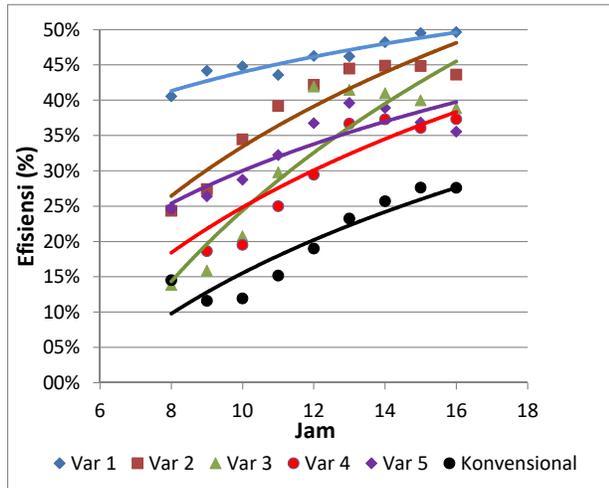


Gambar 7. Hasil air destilasi pada variasi menggunakan reflektor dan pendingin kaca dengan ketinggian air bak 0,5 cm



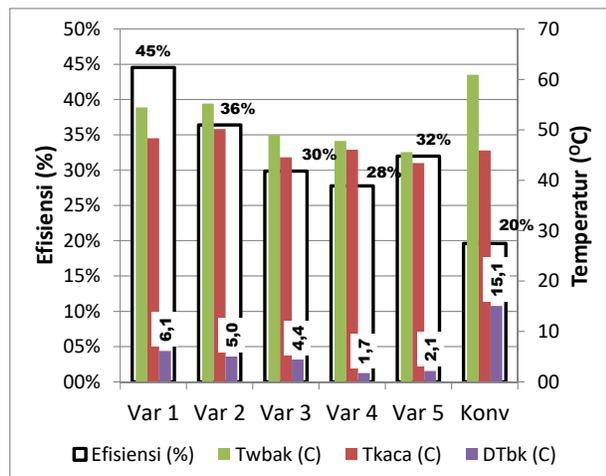
Gambar 8. Hasil air destilasi pada variasi menggunakan reflektor dan pendingin kaca dengan ketinggian air bak 1 cm

Hasil terbaik berikutnya pada alat destilasi berkondensor pasif berturut-turut adalah pada variasi menggunakan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm yakni 3,32 liter/ ($0,9 m^2.hari$) atau 3,69 liter/ ($m^2.hari$) dengan efisiensi maksimum 43,6% dan efisiensi rata-rata 36,4%, pada variasi menggunakan pendingin kaca dengan ketinggian air bak 0.5 cm yakni 2,97 liter/ ($0,9 m^2.hari$) atau 3,30 liter/ ($m^2.hari$) dengan efisiensi maksimum 38,9% dan efisiensi rata-rata 29,9%, pada variasi menggunakan reflektor dan pendingin kaca dengan ketinggian air bak 0,5 yakni 2,88 liter/ ($0,9 m^2.hari$) atau 3,2 liter/ ($m^2.hari$) dengan efisiensi maksimum 37,3% dan efisiensi rata-rata 27,8% dan pada variasi menggunakan reflektor dan pendingin kaca dengan ketinggian air bak 1 cm yakni 2,30 liter/ ($0,9 m^2.hari$) atau 2,56 liter/ ($m^2.hari$) dengan efisiensi maksimum 35,3% dan efisiensi rata-rata 32,0%. Efisiensi dari waktu ke waktu untuk semua variasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 91. Efisiensi pada destilasi dengan kondensor pasif untuk semua variasi

Pada variasi menggunakan reflektor, energi surya yang diterima alat destilasi sebenarnya lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan reflektor, hal ini sebenarnya memungkinkan hasil yang lebih baik. Pada penelitian ini hasil air destilasi dengan variasi menggunakan reflektor tidak merupakan yang terbaik, hal ini disebabkan walaupun temperatur air di bak lebih tinggi dibandingkan variasi tanpa menggunakan reflektor tetapi temperatur kaca juga lebih tinggi dibandingkan variasi tanpa reflektor. Hal tersebut menyebabkan beda temperatur antara air di bak dengan temperatur kaca pada variasi dengan reflektor lebih kecil dibandingkan variasi tanpa reflektor (Gambar 10). Beda temperatur yang lebih besar menyebabkan perbedaan tekanan parsial uap pada temperatur air di bak dengan tekanan parsial uap pada temperatur kaca lebih besar. Perbedaan tekanan parsial uap yang lebih besar menyebabkan kalor penguapan yang lebih besar (Persamaan 6 dan Persamaan 7) atau dengan kata lain penguapan yang terjadi lebih baik.



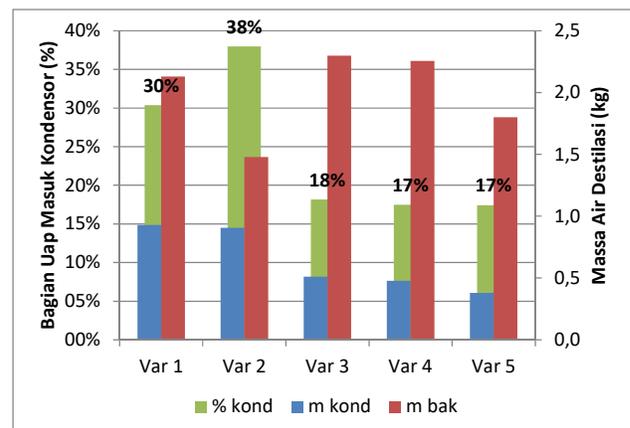
Gambar 10. Efisiensi, temperatur air di bak, temperatur kaca dan beda temperatur untuk semua variasi

Pada variasi menggunakan air pendingin kaca, temperatur kaca memang lebih rendah dibandingkan variasi tanpa menggunakan pendingin kaca tetapi

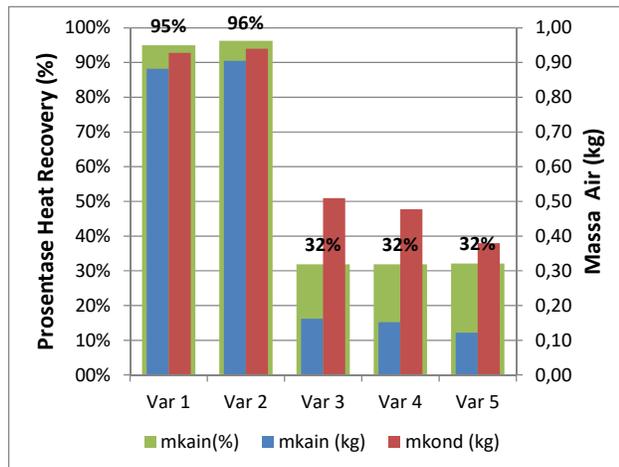
temperatur air di bak juga turun dan menjadi lebih rendah dibandingkan temperatur air di bak pada variasi tanpa menggunakan air pendingin. Beda temperatur antara air di bak dengan temperatur kaca pada variasi menggunakan air pendingin lebih rendah dibandingkan pada variasi tanpa menggunakan air pendingin kaca (Gambar 10), hal ini menyebabkan hasil air destilasi pada variasi dengan pendingin kaca lebih rendah dibandingkan variasi tanpa menggunakan air pendingin kaca. Temperatur air di bak yang turun pada variasi menggunakan air pendingin kaca menunjukkan adanya energi panas dari air di bak yang keluar alat destilasi karena adanya air pendingin kaca. Hal tersebut menunjukkan air pendingin kaca yang digunakan terlalu banyak sehingga tidak hanya energi panas pada kaca yang terbawa air pendingin kaca tetapi juga energi panas pada air di bak yang sebenarnya diperlukan untuk proses penguapan.

Pada variasi menggunakan reflektor dan air pendingin kaca (variasi 4 dan 5) hasil air destilasi yang diperoleh adalah yang paling sedikit dibandingkan variasi yang lain. Hal tersebut juga disebabkan kombinasi naiknya temperatur kaca karena reflektor dan turunnya temperatur air di bak karena air pendingin kaca (Gambar 10). Pada variasi 5 jumlah massa air di bak lebih besar dibandingkan variasi 4 (dua kali lebih besar) hal tersebut menyebabkan temperatur air di bak pada variasi 5 lebih sulit untuk naik dibandingkan variasi 4 karena kapasitas panas yang lebih besar.

Pada alat destilasi konvensional, beda temperatur antara air di bak dengan temperatur kaca lebih besar dibandingkan alat destilasi dengan kondensor pasif, hal ini menunjukkan proses penguapan pada alat destilasi konvensional dapat lebih baik dibandingkan alat destilasi. Hasil yang lebih rendah pada alat destilasi jenis konvensional disebabkan karena proses pengembunan pada alat destilasi dengan kondensor lebih baik dan adanya pemanfaatan panas pengembunan dengan metode kapilaritas pada alat destilasi dengan kondensor pasif.



Gambar 11. Bagian uap dari kotak destilasi yang masuk kondensor pada destilasi dengan kondensor pasif untuk semua variasi



Gambar 12. Prosentase heat recovery dari uap di kondensor pada destilasi dengan kondensor pasif untuk semua variasi

Proses pengembunan dipengaruhi oleh dua faktor yakni temperatur dinding pengembunan dan tekanan parsial uap. Semakin rendah temperatur dinding pengembunan semakin baik proses pengembunan. Semakin besar tekanan parsial uap semakin baik proses pengembunan. Pada alat destilasi dengan kondensor pasif proses pengembunan uap dari bak terjadi di dua tempat yakni kaca penutup dan kondensor pasif. Temperatur dinding kondensor pasif lebih rendah dibandingkan kaca penutup. Bagian uap dari air yang menguap di bak dan masuk ke kondensor dapat dilihat pada Gambar 11. Bagian uap yang masuk ke kondensor dan dapat dimanfaatkan untuk heat recovery dapat dilihat pada Gambar 12. Bagian uap yang masuk ke kondensor dan bagian uap yang dapat dimanfaatkan untuk heat recovery terbesar terjadi pada variasi 1 dan 2, sedangkan pada variasi 3, 4 dan 5 (variasi dengan air pendingin) bagian uap yang masuk ke kondensor dan bagian uap yang dapat dimanfaatkan untuk heat recovery harganya lebih rendah. Hal tersebut disebabkan pada penggunaan air pendingin kaca beda tekanan antara kotak destilasi dan kondensor lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan air pendingin kaca. Selain itu air pendingin kaca meningkatkan kapasitas pengembunan di kotak destilasi.

4. Simpulan

Dari pelaksanaan penelitian dapat disimpulkan:

1. Hasil air destilasi terbanyak diperoleh pada variasi tanpa menggunakan pendingin kaca dan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm yakni 4,38 liter/(m².hari). Efisiensi maksimum dan efisiensi rata-rata yang diperoleh pada variasi ini adalah 49,6% dan 44,6%.
2. Penggunaan reflektor yang tidak sesuai dapat menyebabkan penurunan hasil air destilasi dan efisiensi.
3. Penggunaan air pendingin kaca yang terlalu banyak dapat menyebabkan penurunan hasil air destilasi dan efisiensi.
4. Penggunaan air pendingin kaca yang terlalu banyak dapat menyebabkan penurunan uap yang

masuk kedalam kondensor dan menurunkan pemanfaatan panas pengembunan (heat recovery)

5. Prosentase uap maksimum dari bak yang dapat masuk kedalam kondensor sebesar 38% yakni pada variasi menggunakan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm
6. Prosentase pemanfaatan panas pengembunan (heat recovery) maksimum dari uap yang masuk kedalam kondensor sebesar 96% yakni pada variasi menggunakan reflektor dengan ketinggian air bak 0.5 cm

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kemenristek Dikti dan LPPM Universitas Sanata Dharma, yang telah membiayai penelitian ini melalui skim Hibah Bersaing 2015.

Daftar Pustaka

- [1] Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral (2003), Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan Dan Konservasi Energi (Energi Hijau), Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- [2] Menteri Negara Riset dan Teknologi (2006), Indonesia 2005-2025 Buku Putih Penelitian, Pengembangan Dan Penerapan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta.
- [3] Kunze, H. H.,(2001), A New Approach To Solar Desalination For Small- And Medium-Size Use In Remote Areas, *Desalination*, 139, pp 35–41
- [4] Kalbasi, R., esfahani, M.,N., (2010), Multi-Effect Passive Desalination System, An Experimental Approach, *World Applied Sciences Journal*, Vol. 10,10, pp 1264-1271.
- [5] Tanaka, H., nakatake, Y., (2004), A Vertikal Multiple-Effect Diffusion-Type Solar Still Coupled With A Heat-Pipe Solar Collector, *Desalination* Vol. 160, pp 195-205.
- [6] Tanaka, H., Nakatake, Y., (2005), Factors Influencing The Productivity Of A Multiple-Effect Diffusion-Type Solar Still Coupled With A Flat Plate Reflector, *Desalination* Vol. 186, pp 299-310.
- [7] Hassan, Fath, E.,S., (1995), High Performance Of A Simple Design, Two Effects. *Solar Distillation Unit, Energy Conversion Management*, Vol. 38, 18, pp 1895-1905.
- [8] Madhlopa, A., Johnstone, C., (2009), Numerical Study Of A Passive Solar Still With Separate Condenser, *Renewable Energy*, Vol. 34, pp 1668-1677.
- [9] Fath, H.E.S.; Samy M. Elsherbiny, S.M., (1993), Effect of adding a passive condenser on solar still performance, *Energy Conversion and Management*, 34, 1, pp 63–72.
- [10] Ahmed, H.M., (2012), Experimental Investigations of Solar Stills Connected to External Passive Condensers, *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 2, pp 1-11.

- [11] Fath, H.E.S; Elsherbiny, S.M.; Ghazy, A. (2004), A Naturally Circulated Humidifying/Dehumidifying Solar Still With A Built-In Passive Condenser, *Desalination*, 169, pp 129–149.
- [12] El-Bahi, A. Inan, D., (1999), A Solar Still With Minimum Inclination, Coupled To An Outside Condenser, *Desalination* Vol. 123, pp 79-83.
- [13] Boukar M., Harmim A., (2005), Performance Evaluation Of A One-Sided Vertical Solar Still Tested In The Desert Of Algeria, *Desalination* Vol. 183, pp 113-126.
- [14] Boukar M., Harmim A., (2006), Design Parameters And Preliminary Experimental Investigation Of An Indirect Vertical Solar Still, *Desalination* Vol. 203, pp 444-454.
- [15] El-Bahi, A.; Inan, D., (1999), Analysis of a parallel double glass solar still with separate condenser, *Renewable Energy*, 17, 4, pp 509–521.
- [16] Boukar, M., Harmim, A., (2004), Parametric Study Of A Vertical Solar Still Under Desert Climatic Conditions, *Desalination* Vol. 168, pp 21-28.
- [17] Arismunandar, Wiranto, 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta : Pradnya Paramita.



I Gusti Ketut Puja menyelesaikan studi S1 di Universitas Gadjah Mada, pada tahun 1996, kemudian melanjutkan program magister teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada pada tahun 1998 dan menyelesaikan studinya pada tahun 2001. Saat ini yang bersangkutan sedang menempuh studi S3 di Universitas Brawijaya, Malang. Bidang penelitian yang diminati adalah material manufaktur, material untuk energi, serta beberapa topik yang berkaitan dengan karakterisasi material.