



## EFEK KAPILARITAS ABSORBER PADA UNJUK KERJA DESTILASI AIR ENERGI SURYA JENIS VERTIKAL

Doddy Purwadianto<sup>1\*</sup>, FA. Rusdi Sambada<sup>1</sup>, I Gusti Ketut Puja<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta,  
Kampus III USD, Paingan-Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta.

Email : \*[purwadodi@gmail.com](mailto:purwadodi@gmail.com)

### ABSTRAK

*Permasalahan umum pada alat destilasi air energi surya jenis vertikal saat ini adalah masih rendahnya efisiensi yang dihasilkan. Penelitian ini akan meneliti pengaruh sifat kapilaritas absorber terhadap efisiensi yang dihasilkan. Tujuan penelitian ini adalah (1) membuat model alat destilasi air energi surya jenis vertikal, (2) menganalisis pengaruh sifat kapilaritas absorber terhadap efisiensi yang dihasilkan alat destilasi air energi surya jenis vertikal dan (3) menganalisis pengaruh temperatur kaca penutup dan jumlah energi surya yang diterima terhadap efisiensi yang dihasilkan alat destilasi air energi surya jenis vertikal. Alat destilasi air energi surya pada penelitian ini terdiri dari 4 (empat) konfigurasi sebagai berikut: (1) Alat destilasi berpendingin udara tanpa reflektor dengan aliran kapilaritas alami dan paksa, (2) alat destilasi berpendingin air tanpa reflektor dengan aliran kapilaritas alami dan paksa, (3) alat destilasi berpendingin air dengan reflektor dengan aliran kapilaritas alami dan paksa dan (4) alat destilasi jenis konvensional sebagai pembandingan. Variabel yang divariasikan adalah (1) jenis aliran kapilaritas sebanyak 2 variasi (alami dan paksa), (2) temperatur kaca penutup, divariasikan dengan mevariasikan fluida pendingin kaca sebanyak 2 variasi (udara dan air) dan (3) jumlah energi surya yang diterima sebanyak 2 variasi (divariasikan dengan menggunakan dan tidak menggunakan reflektor). Hasil penelitian menunjukkan pada variasi pendingin air dan reflektor alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alam menghasilkan efisiensi teoritis 14,69 %, efisiensi aktual 5,76 % dan air destilasi 0,87 liter/m<sup>2</sup> per hari pada kondisi yang sama efisiensi aktual alat destilasi konvensional mencapai 27,56 % dan air destilasi 1,85 liter/m<sup>2</sup> per hari. Alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa menghasilkan efisiensi teoritis 47,26%, efisiensi aktual 26,26% dan air destilasi 1,12 liter/m<sup>2</sup> per hari pada variasi pendingin udara. Pada kondisi yang sama alat destilasi konvensional dapat menghasilkan efisiensi teoritis sebesar 32,63% dan air destilasi 1,34 liter/m<sup>2</sup> per hari.*

**Kata kunci:** destilasi air, energi surya, vertikal, sifat kapilaritas, efisiensi

### I. Pendahuluan

Mencari air bersih merupakan salah satu pekerjaan utama masyarakat didaerah terpencil. Di beberapa daerah, sumber air yang ada sudah terkontaminasi garam atau zat lain yang berbahaya bagi kesehatan. Penggunaan alat destilasi air energi surya dapat meningkatkan kualitas hidup dan menaikkan taraf kesehatan. Keuntungan alat destilasi air energi surya diantaranya adalah murah dalam pembuatan dan pengoperasian serta perawatan yang mudah (Kunze, 2001). Ada beberapa jenis alat destilasi air energi surya, diantaranya jenis vertikal. Alat destilasi air energi surya jenis vertikal mempunyai keunggulan dalam hal konstruksi yang sederhana dibandingkan beberapa jenis alat destilasi air energi surya lain. Dengan konstruksi sederhana, alat destilasi air energi surya jenis vertikal termasuk salah satu alat destilasi air energi surya yang paling mudah dibuat dan dipasang sehingga biaya pembuatan menjadi tidak mahal. Dua komponen utama sebuah alat destilasi air energi surya jenis vertikal adalah absorber dan kaca penutup. Absorber merupakan tempat air kotor diuapkan dan kaca penutup merupakan tempat uap air yang sudah tidak mengandung kotoran diembunkan sehingga diperoleh air bersih. Absorber pada alat destilasi air energi surya jenis vertikal umumnya dibuat dari bahan yang memiliki sifat kapilaritas seperti kain atau spon.

Publikasi tentang alat destilasi air energi surya jenis vertikal yang ada sangat sedikit (Kiatsiriroat, 1989). Terdapat empat alat destilasi air energi surya jenis vertikal yang dibuat di Florida (Bloemer, 1965). Penelitian disain alat destilasi energi surya dengan permukaan silinder vertikal terdapat di Australia (Coffey, 1975). Di Thailand (KMITT) sebuah alat destilasi yang mempunyai absorber silinder vertikal telah dibuat dan diuji (Wibulswas, 1981). Permasalahan umum pada alat destilasi air energi surya jenis vertikal saat ini adalah masih rendahnya efisiensi yang dihasilkan. Banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi alat destilasi air energi surya diantaranya adalah sifat kapilaritas absorber. Dari penelitian alat destilasi air energi surya jenis vertikal yang ada, belum ada penelitian mengenai pengaruh sifat kapilaritas ini terhadap efisiensi yang dihasilkan. Penelitian ini akan meneliti pengaruh sifat kapilaritas absorber terhadap efisiensi yang dihasilkan. Selain pengaruh sifat kapilaritas penelitian ini juga akan meneliti beberapa faktor lain yang mempengaruhi efisiensi alat destilasi air energi surya jenis vertikal yakni temperatur kaca penutup dan jumlah energi surya yang diterima.

## II. Landasan Teori

Prinsip kerja alat destilasi air energi surya adalah penguapan air yang terkontaminasi dan pengembunan uap air. Secara teoritis alat destilasi energi surya dapat menghasilkan air bersih 6 liter per hari tiap satu meter persegi luasan alat. Unjuk kerja suatu alat destilasi surya diukur dari efisiensi yang dihasilkan. Komponen utama yang terdapat pada sebuah alat destilasi air energi surya jenis vertikal (Gambar 1.) adalah (1) absorber dan (2) kaca penutup. Absorber berfungsi sebagai penyerap energi surya untuk memanasi air yang akan diuapkan (didestilasi). Kaca penutup berfungsi sebagai tempat mengembunnya uap air sehingga dihasilkan air bersih yang dapat langsung dikonsumsi. Absorber terbuat dari bahan yang memiliki sifat kapilaritas seperti kain atau spon. Efisiensi alat destilasi energi surya didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah energi yang digunakan dalam proses penguapan air dengan jumlah energi surya yang datang selama waktu pemanasan (Arismunandar, 1995):

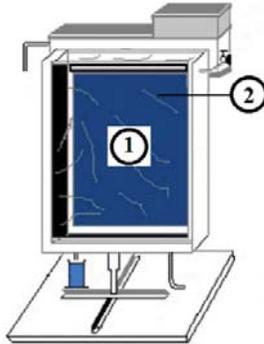
$$\eta_{Destilasi} = \frac{m \cdot h_{fg}}{A_C \int_0^t G \cdot dt} \quad (1)$$

dengan  $A_C$  adalah luas alat destilasi ( $m^2$ ),  $dt$  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 ( $kg$ ). Massa uap air ( $m_g$ ) dapat diperkirakan dengan persamaan matematis berikut (Arismunandar, 1995):

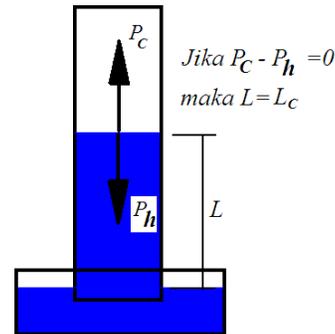
$$m_g \cdot h_{fg} = q_{uap} = 16,27 \cdot 10^{-3} \cdot q_{konv} \cdot \left( \frac{P_W - P_C}{T_W - T_C} \right) \quad (2)$$

$$q_{konv} = 8,84 \cdot 10^{-4} \left[ T_W - T_C + \frac{P_W - P_C}{268,9 \cdot 10^3 - P_W} \cdot T_W \right]^{1/3} \cdot (T_W - T_C) \quad (3)$$

Dengan  $q_{uap}$  adalah bagian energi matahari yang digunakan untuk proses penguapan ( $W/m^2$ ),  $q_{konv}$  bagian energi matahari yang hilang karena konveksi ( $W/m^2$ ),  $P_W$  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 ( $^{\circ}C$ ).



Gambar 1. Skema alat destilasi air energi surya jenis vertikal



Gambar 2. Panjang kapilaritas kain

Banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi alat destilasi air energi surya diantaranya: keefektifan absorber dalam menyerap energi surya, keefektifan kaca dalam mengembun uap air, jumlah massa air di alat destilasi dan temperatur awal air masuk kedalam alat destilasi. Absorber harus terbuat dari bahan dengan absorbtivitas energi surya yang baik, untuk meningkatkan absorbtivitas umumnya absorber berwarna hitam. Kaca penutup tidak boleh terlalu panas, jika kaca terlalu panas maka uap akan sukar mengembun. Jumlah massa air yang ada di dalam alat destilasi tidak boleh terlalu banyak karena akan memperlama proses penguapan air. Temperatur air masuk alat destilasi harus diusahakan tinggi. Semakin tinggi temperatur air masuk alat destilasi maka air bersih yang dihasilkan akan semakin banyak sehingga efisiensi alat destilasi semakin meningkat.

Air yang mengalir pada kain berasal dari bak air terkontaminasi yang berada di bagian atas alat destilasi. Mengalirnya air terkontaminasi dari atas kebawah disebabkan adanya sifat kapilaritas kain. Laju aliran air pada kain dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = A \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot k}{\eta} \left[ \frac{L_C - L}{L} \right] \quad (m^3/detik) \quad (4)$$

Dengan  $A$  adalah luas penampang kain arah tegak lurus aliran ( $m^2$ ),  $\rho$  adalah massa jenis air terkontaminasi ( $kg/m^3$ ),  $g$  adalah gravitasi ( $m/detik^2$ ),  $k$  adalah permeabilitas kain ( $m^2$ ),  $\eta$  adalah viskositas air terkontaminasi ( $N \cdot detik/m^2$ ),  $L_C$  adalah panjang kapilaritas kain (m) dan  $L$  adalah panjang kain (m). Permeabilitas ( $k$ ) pada

prinsipnya hanya merupakan fungsi struktur keporusan media porus sebagai contoh katun dan fiber mempunyai permeabilitas yang berbeda karena mempunyai struktur keporusan yang berbeda. Panjang kapilaritas kain adalah kondisi kesetimbangan antara tekanan kapilaritas  $P_c$  dengan tekanan hidrolis  $P_h$  atau  $P_c = P_h$  seperti terlihat pada Gambar 2.

$$P_c = \frac{2\gamma \cdot \cos\theta}{R} \quad (5)$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \quad (6)$$

Dengan  $\gamma$  adalah tegangan permukaan,  $\theta$  adalah sudut kontak zat cair dan  $R$  adalah radius kapilaritas efektif. Untuk mengetahui permeabilitas ( $k$ ) dan panjang kapilaritas ( $L_c$ ) dari suatu bahan porus (kain) dapat dilakukan eksperimen dengan prinsip seperti pada Gambar 2.

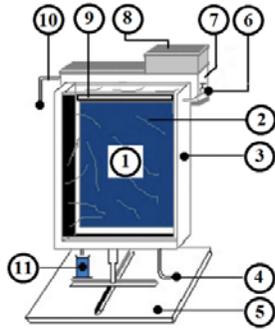
Penelitian beberapa jenis alat destilasi air energi surya telah dilakukan oleh Malick (Malick, 1982). Hasil yang diperoleh Malick dilanjutkan oleh Tiwari (Tiwari, 1992). Penelitian unjuk kerja alat destilasi jenis vertikal sisi tunggal dengan menggunakan absorber spon berwarna hitam menghasilkan air destilasi antara 0,275 sampai 1,31 liter/m<sup>2</sup>.hari dengan jumlah energi surya antara 8,42 sampai 14,71 MJ. Efisiensi harian berkisar antara 7,85 sampai 21,19% (Boukar, 2005). Penelitian tersebut dilakukan di Aljazair pada musim panas dan gugur 2003. Luasan spon yang digunakan 0,817m<sup>2</sup>. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa uap air yang mengembun di kaca menghalangi energi surya yang masuk. Penelitian unjuk kerja alat destilasi jenis vertikal sisi tunggal tersebut dimodifikasi dengan menambahkan kondensor pasif di bagian belakang alat destilasi (Boukar, 2007). Modifikasi tersebut menerapkan metode tetesan air terbalik yang telah diteliti sebelumnya oleh Badran yang menerapkan metode tersebut untuk kolektor pelat datar (Badran, 1992) dan untuk alat destilasi air energi surya (Badran, 1993). Penelitian modifikasi oleh Boukar tersebut dilakukan di Aljazair pada musim dingin (Desember 2005 sampai Januari 2006) dengan luas alat destilasi 0,942 m<sup>2</sup> dan luas bagian penguapan (kondensor pasif) 0,869 m<sup>2</sup>. Produktivitas harian yang diperoleh bervariasi antara 0,863 sampai 1,323 l/m<sup>2</sup>.hari dengan energi surya sebesar 19,15-26,08 MJ/m<sup>2</sup> dan temperatur lingkungan antara 10,68 sampai 15,19°C, efisiensi maksimum yang diperoleh tiap jam antara 47,69 sampai 57,85%. Sebuah prototipe alat destilasi air energi surya jenis vertikal menggunakan absorber rata dengan luas 0,817m<sup>2</sup> terbuat dari kain spon hitam mempunyai penutup kaca dengan luas 0,8769m<sup>2</sup> diteliti pada musim panas dari bulan Mei sampai Juli 2003 dan musim gugur dari September sampai November di daerah gurun di Adrar. Jarak kaca dengan absorber 70 mm dan tebal isolasi 35 mm. Penelitian tersebut menganalisis parameter-parameter yang mempengaruhi unjuk kerja dan produktivitas alat destilasi. Parameter yang dianalisis adalah temperatur air masuk dan keluar, temperatur sekitar, temperatur kaca, energi surya yang datang dan posisi alat destilasi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan unjuk kerja dan produktivitas alat destilasi air energi surya jenis vertikal sangat bergantung pada energi surya yang datang, temperatur sekitar dan posisi alat destilasi. Hasil air yang diperoleh bervariasi antara 0,5 sampai 2,3 kg/m<sup>2</sup> (Boukar, 2004).

Produktivitas destilasi air energi surya bergantung pada banyak parameter seperti kondisi cuaca, sifat termal material alat, posisi alat, kemiringan kaca, kebocoran uap dan parameter operasional lainnya (Garg, 1976). Pada alat destilasi miring menggunakan absorber kain umumnya dihasilkan air 20-50% lebih banyak dibandingkan alat destilasi konvensional (Tanaka, 1982). Penelitian pengaruh cuaca, disain dan parameter operasional pada produktivitas alat destilasi juga diteliti oleh Yeh dan Chen (Yeh, 1986). Penelitian pengaruh regeneratif pada destilasi air energi surya jenis vertikal juga pernah dilakukan (Wibulswa, 1984). Menurut Dunkle parameter operasional utama yang mempengaruhi unjuk kerja destilasi air energi surya adalah jumlah energi surya, temperatur sekitar, kedalaman air dalam bak dan kebocoran pada bagian dasar alat (Dunkle, 1976). Jarak kaca dan absorber yang optimum adalah 40 sampai 60 mm (Ramli, 1984). Penelitian pengaruh disain parameter terhadap unjuk kerja alat destilasi juga dilakukan oleh Headly (Headly, 1970), Singh (Singh, 1996) dan Garcia (Garcia, 1999). Penelitian menggunakan dua alat destilasi air energi surya vertikal jenis tidak langsung di Sahara pada musim dingin menghasilkan laju alir air bersih maksimum 1,0615 kg/m<sup>2</sup>.jam. Temperatur penguapan maksimum 73,26°C pada temperatur sekitar antara 9,05 sampai 21,76°C. Penelitian alat destilasi air energi surya vertikal jenis gabungan antara tidak langsung dan langsung di lakukan di gurun Sahara di Adrar Aljazair. Alat destilasi tersebut menghasilkan air bersih antara 1,78 sampai 6,26 liter/m<sup>2</sup>.hari di bagian tidak langsung dan 0,55 sampai 1,93 liter/m<sup>2</sup>.hari di bagian langsung. Bagian langsung berbentuk bak dengan penampang trapesium dengan ukuran sisi panjang 0,98 m dan sisi pendek 0,84 m. Penelitian dilakukan dari bulan Mei sampai Juli 2006 dengan temperatur sekitar rata-rata 28,07 sampai 43,28°C dan energi surya antara 28,48 sampai 22,79 MJ/m<sup>2</sup>.hari.

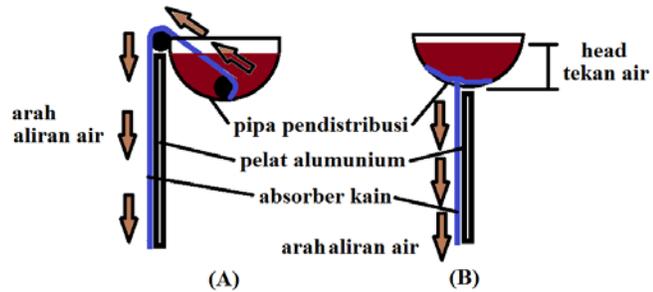
### III. Metode Penelitian

Alat destilasi air energi surya jenis vertikal pada penelitian ini terdiri dari 4 (empat) konfigurasi sebagai berikut: (1) alat destilasi berpendingin udara tanpa reflector dengan aliran kapilaritas alami dan paksa (Gambar 3), (2) alat destilasi berpendingin air tanpa reflektor dengan aliran kapilaritas alami dan paksa (Gambar 5), (3) alat destilasi berpendingin air dengan reflektor dengan aliran kapilaritas alami dan paksa (Gambar 6) dan (4)

Alat destilasi jenis konvensional sebagai pembanding (Gambar 7). Air yang digunakan pada alat destilasi ini adalah air sumur dangkal. Alat berpendingin udara tanpa reflektor dengan aliran kapilaritas alami dan dengan aliran kapilaritas paksa mempunyai perbedaan pada konstruksi pipa pendistribusi air (Gambar 4). Variabel yang divariasikan adalah: (1) jenis aliran kapilaritas sebanyak 2 variasi (alami dan paksa), (2) temperatur kaca penutup, divariasikan dengan mevariasikan fluida pendingin kaca sebanyak 2 variasi (udara dan air) dan (3) jumlah energi surya yang diterima sebanyak 2 variasi (divariasikan dengan menggunakan dan tidak menggunakan reflektor)



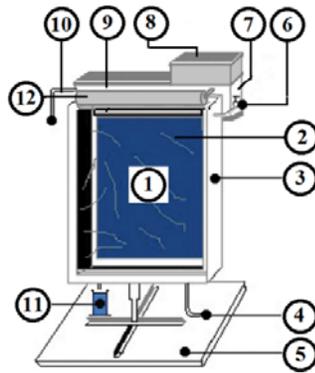
**Gambar 3.** Skema Alat destilasi berpendingin udara tanpa reflektor



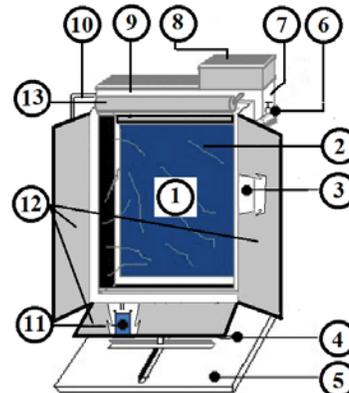
**Gambar 4.** Mekanisme aliran kapilaritas (A) alami dan (B) paksa

Komponen alat destilasi berpendingin udara tanpa reflektor dengan aliran kapilaritas alami terdiri dari (1) absorber, (2) kaca penutup, (3) kotak destilasi, (4) saluran buang air kotor yang tidak menguap, (5) konstruksi pendukung, (6) keran pengatur aliran air kotor, (7) kotak air kotor, (8) bak pengatur ketinggian air, (9) pipa pendistribusi air kotor ke absorber, (10) saluran suplai air kotor dan (11) bak penampung air bersih.

Mekanisme aliran kapilaritas alami dan aliran paksa mempunyai perbedaan konstruksi pada bagian pipa pendistribusi seperti Gambar 4. Pada aliran alami, air dari bak pendistribusi mengalir ke arah atas terlebih dahulu sebelum ke arah bawah. Mengalirnya air hanya disebabkan sifat kapilaritas. Pada aliran paksa, air dari bak pendistribusi mengalir langsung ke arah bawah. Mengalirnya air disebabkan karena sifat kapilaritas dan head tekan air.

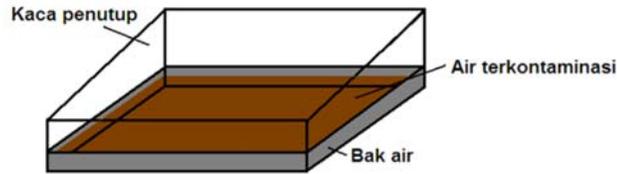


**Gambar 5.** Alat destilasi berpendingin air tanpa reflektor



**Gambar 6.** Alat destilasi berpendingin air dengan reflektor

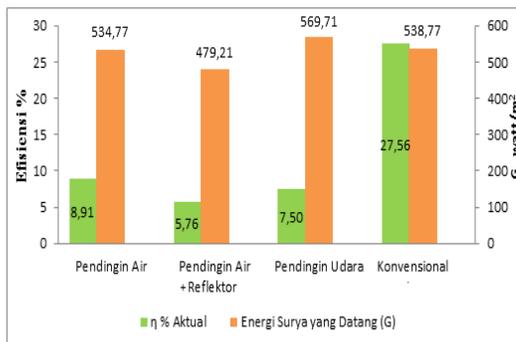
Komponen alat destilasi berpendingin air tanpa reflektor terdiri dari (1) absorber, (2) kaca penutup, (3) kotak destilasi, (4) saluran buang air kotor yang tidak menguap, (5) konstruksi pendukung, (6) keran pengatur aliran air kotor, (7) kotak air kotor, (8) bak pengatur ketinggian air, (9) pipa pendistribusi air kotor ke absorber, (10) saluran suplai air kotor, (11) bak penampung air bersih dan (12) pipa pendingin kaca. Komponen alat destilasi berpendingin air dengan reflektor dengan aliran kapilaritas alami terdiri dari (1) absorber, (2) kaca penutup, (3) kotak destilasi, (4) saluran buang air kotor, (5) konstruksi pendukung, (6) keran pengatur aliran air kotor, (7) kotak air kotor, (8) bak pengatur ketinggian air, (9) pipa pendistribusi air kotor ke absorber, (10) saluran suplai air kotor, (11) bak penampung air bersih, (12) reflektor dan (13) pipa pendingin kaca.



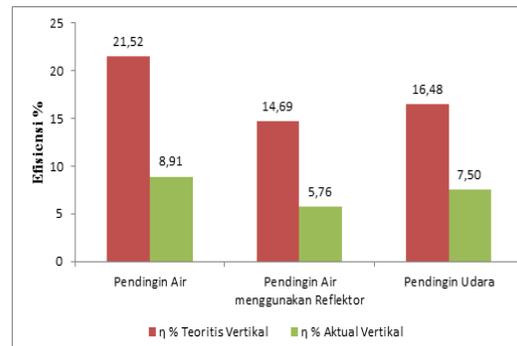
Gambar 7. Destilasi air energi surya jenis konvensional

#### IV. Hasil Dan Pembahasan

Gambar 8 menunjukkan perbandingan hasil efisiensi aktual per hari yang dihasilkan alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami dan efisiensi aktual alat destilasi konvensional. Efisiensi aktual pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami pada variasi berpendingin air mencapai 8,91 % dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 534,77 W/m<sup>2</sup>, pada variasi pendingin air dan reflektor diperoleh efisiensi aktual sebesar 5,76 % dengan rata-rata radiasi matahari 479,21 W/m<sup>2</sup>, dan pada variasi berpendingin udara diperoleh efisiensi aktual mencapai 7,5 % dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 569,71 W/m<sup>2</sup>. Dari ketiga variasi alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami, efisiensi aktualnya lebih rendah dibandingkan dengan hasil efisiensi aktual alat destilasi konvensional yang mencapai 27,56 % dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 538,77 W/m<sup>2</sup>. Efisiensi aktual alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami yang lebih rendah dibandingkan alat destilasi jenis konvensional tersebut disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor penyebabnya adalah jumlah energi matahari yang diterima. Alat destilasi vertikal menerima energi matahari yang lebih sedikit dibandingkan jumlah energi matahari yang diterima alat destilasi jenis konvensional. Lebih sedikitnya jumlah energi matahari yang diterima alat destilasi vertikal disebabkan posisi alat (vertikal) yang tidak sesuai dengan arah datangnya energi matahari. Arah datang energi matahari dipengaruhi beberapa faktor seperti waktu (jam, hari dan bulan) serta posisi lintang tempat alat destilasi tersebut (Yogyakarta terletak di 8° lintang selatan). Faktor penyebab lain dari lebih rendahnya efisiensi alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami dibandingkan jenis konvensional adalah sifat kapilaritas kain. Kendala yang ada adalah sulitnya menjaga kain absorber agar tetap basah secara merata, dalam hal ini kemungkinan besar kain mengalami kekeringan.



Gambar 8. Efisiensi aktual dan energi surya yang datang pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami dan alat destilasi konvensional

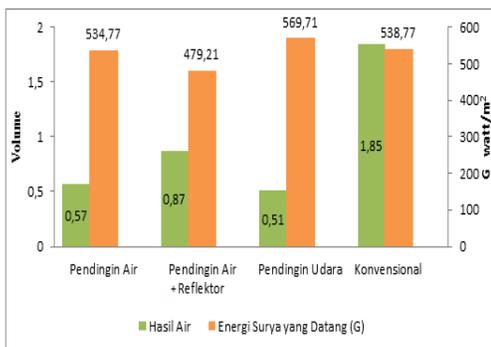


Gambar 9. Efisiensi teoritis dan aktual pada alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas alami terhadap variabel yang divariasikan

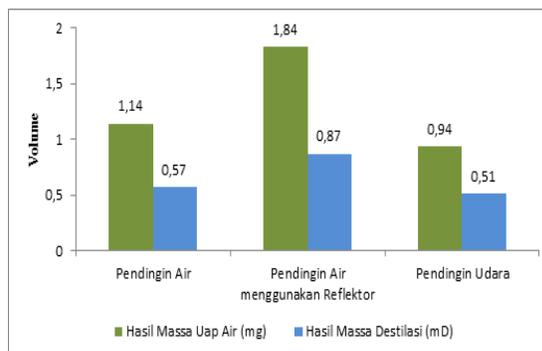
Gambar 9 menunjukkan efisiensi teoritis dan aktual pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami pada semua variasi. Pada variasi pendingin air efisiensi teoritis yang dihasilkan mencapai 21,52 % dengan efisiensi aktual 8,91%. Pada variasi pendingin air dan bereflektor efisiensi teoritis yang dihasilkan mencapai 14,69 % dengan efisiensi aktual 5,76. Sedangkan hasil yang diperoleh pada variasi pendingin udara, efisiensi teoritis yang diperoleh mencapai 16,48 % dengan efisiensi aktual mencapai 7,50 %. Dari keseluruhan hasil efisiensi teoritis dan efisiensi aktual, efisiensi teoritis lebih tinggi dibanding efisiensi aktual. Efisiensi teoritis didasarkan pada perhitungan jumlah air yang menguap sedangkan efisiensi aktual didasarkan pada jumlah air destilasi yang dihasilkan (diperoleh dari pengukuran). Perbedaan yang cukup jauh antara efisiensi teoritis dan efisiensi aktual dapat disebabkan oleh beberapa hal. Penyebab yang paling umum adalah kebocoran uap pada alat, hal ini menyebabkan uap air tidak dapat mengembun dan tertampung melainkan keluar dari alat ke lingkungan. Penyebab lain adalah asumsi yang digunakan pada persamaan matematis dalam perhitungan efisiensi teoritis yang terlalu ideal.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan hasil air alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami dengan alat destilasi konvensional. Hasil air destilasi rata-rata per hari pada alat destilasi konvensional lebih

banyak dibandingkan dengan alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas alami. Hasil air bersih yang diperoleh alat destilasi konvensional mencapai 1,85 liter/m<sup>2</sup> per hari dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 538,77 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan pada alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas alami berpendingin air, air bersih yang dihasilkan hanya 0,57 liter/m<sup>2</sup> per hari dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 534,77 W/m<sup>2</sup>. Pada variasi pendingin air dan reflektor diperoleh hasil air bersih mencapai 0,87 liter/m<sup>2</sup> per hari dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 479,21 W/m<sup>2</sup> dan pada variasi pendingin udara diperoleh hasil air bersih 0,51 liter/m<sup>2</sup> per hari dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 569,71 W/m<sup>2</sup>.



**Gambar 10.** Hasil air destilasi yang diperoleh (m<sub>D</sub>) dan energi surya yang datang (G) pada alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas alami dan alat destilasi konvensional

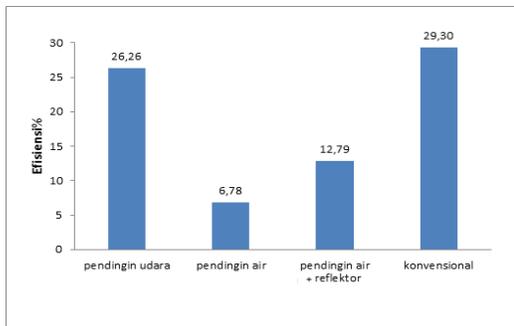


**Gambar 11.** Hasil massa uap air (m<sub>g</sub>) dan hasil massa destilasi (m<sub>D</sub>) per hari pada destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami

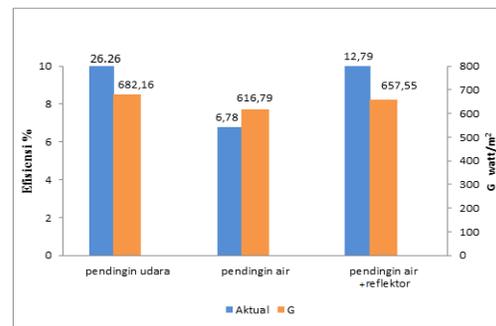
Selain efisiensi ternyata hasil air destilasi yang diperoleh destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami juga lebih sedikit dibandingkan alat destilasi konvensional, hal ini semakin menguatkan dugaan terjadinya kekeringan kain absorber pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami. Hasil air destilasi pada variasi air pendingin dan reflektor yang lebih besar dari variasi pendingin air dan pendingin udara mengindikasikan adanya kebocoran uap pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami. Masalah dugaan kebocoran uap ini juga diperkuat dengan beda hasil massa uap air teoritis dengan hasil massa air destilasi seperti terlihat pada Gambar 11. Gambar 11 menunjukkan hasil rata-rata per hari massa uap air (m<sub>g</sub>) dan massa destilasi (m<sub>D</sub>) yang dihasilkan alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas alami. Pada variasi pendingin air diperoleh hasil massa uap air (m<sub>g</sub>) 1,14 liter/m<sup>2</sup> dan massa destilasi yang dihasilkan (m<sub>D</sub>) sebesar 0,57 liter/m<sup>2</sup>. Pada variasi pendingin air dan reflektor diperoleh massa uap air (m<sub>g</sub>) 1,86 liter/m<sup>2</sup> dan massa destilasi (m<sub>D</sub>) sebesar 0,87 liter/m<sup>2</sup>. Pada variasi pendingin udara, hasil massa uap airnya (m<sub>g</sub>) mencapai 0,94 liter/m<sup>2</sup> dan massa destilasi yang dihasilkan (m<sub>D</sub>) mencapai 0,51 liter/m<sup>2</sup>. Gambar 12 menunjukkan perbandingan efisiensi aktual per hari yang dihasilkan alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa dan efisiensi aktual alat destilasi konvensional. Efisiensi aktual alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa dengan pendingin udara mencapai 26,26 %, pada variasi pendingin air dan reflektor diperoleh efisiensi aktual 12,79% dan pada variasi pendingin air diperoleh efisiensi aktual mencapai 6,78%. Dari ketiga variasi alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa, efisiensi aktual yang diperoleh lebih rendah dibandingkan efisiensi aktual per hari alat destilasi konvensional yang mencapai 29,30 %. Efisiensi aktual pada variasi pendingin air dan reflektor adalah perbandingan energi yang diperlukan untuk menguapkan massa hasil air destilasi dengan jumlah energi matahari yang datang. Jumlah energi yang datang pada variasi pendingin air dan reflektor adalah jumlah energi matahari yang diterima langsung oleh kaca dari matahari dan energi matahari yang diterima kaca penutup dari reflektor. Hal tersebut menyebabkan efisiensi aktual pada variasi pendingin air dan reflektor lebih kecil dibanding variasi pendingin udara dan variasi pendingin air walaupun hasil air destilasi pada variasi air pendingin dan reflektor lebih besar dibanding hasil air destilasi pada variasi pendingin udara dan variasi pendingin air.

Gambar 13 menunjukkan hubungan antara efisiensi aktual dan energi surya yang datang (G) pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa. Efisiensi aktual tertinggi dihasilkan pada variasi pendingin udara yakni mencapai 26,26 % dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 682,16 W/m<sup>2</sup>. Besarnya radiasi matahari sangat berpengaruh terhadap efisiensi. Gambar 14 menunjukkan perbandingan antara efisiensi teoritis dan aktual pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa. Pada variasi pendingin air efisiensi yang dihasilkan tidak sebaik variasi lainnya. Pada variasi pendingin air efisiensi teoritis yang dihasilkan mencapai 57,90% dengan efisiensi aktual 6,78 %. Pada variasi pendingin air dan reflektor efisiensi teoritis yang dihasilkan mencapai 42,63% dengan efisiensi aktual 12,78%. Sedangkan hasil yang diperoleh pada variasi pendingin udara, diperoleh efisiensi teoritis yang lebih baik yakni 47,81 % dengan efisiensi aktual sebesar 26,26 %.

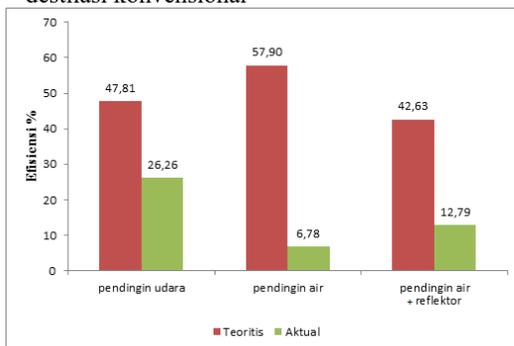
Gambar 15 menunjukkan perbandingan hasil air alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa dan alat destilasi konvensional. Hasil air destilasi rata-rata per hari yang diperoleh pada alat destilasi konvensional yang lebih banyak dibandingkan alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa. Hasil air bersih yang diperoleh alat destilasi konvensional mencapai 1,32 liter per hari. Sedangkan air bersih yang dihasilkan alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa dengan variasi pendingin udara mencapai 1,12 liter per hari. Pada variasi pendingin air dan reflektor hasil air bersih mencapai 0,63 liter per hari, dan pada variasi pendingin air diperoleh hasil air bersih 0,33 liter per hari. Gambar 16 menunjukkan hasil air destilasi yang diperoleh alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa. Pada variasi pendingin udara hasil air bersih yang diperoleh lebih banyak dibandingkan variasi yang lain. Hasil air bersih yang diperoleh pada variasi pendingin air menggunakan reflektor mencapai 0,63 liter per hari dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 657,55 W/m<sup>2</sup>. Pada variasi pendingin air, hasil air bersih yang dihasilkan mencapai 0,33 liter per hari dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 616,8 W/m<sup>2</sup>. Pada variasi pendingin udara memperoleh hasil air bersih 1,12 liter per hari dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 582,2 W/m<sup>2</sup>. Hasil yang lebih baik pada variasi pendingin udara ini dapat disebabkan karena laju penguapan air dari kain absorber dan laju air yang masuk/ mengalir dari bak air ke kain pada variasi pendingin udara ini adalah yang paling setimbang. Laju penguapan air dari kain yang lebih besar dari laju masuknya air dari bak air ke kain absorber dapat menyebabkan kekeringan pada kain absorber. Kekeringan pada kain absorber walaupun sesaat dapat menghambat aliran air dari bak air ke kain absorber untuk waktu selanjutnya. Gambar 17 menunjukan hasil rata-rata per hari air destilasi secara teoritis ( $m_g$ ) dan aktual ( $m_D$ ) yang dihasilkan alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa. Pada variasi pendingin air diperoleh hasil air destilasi teoritis ( $m_g$ ) 2,80 liter dan air destilasi aktual yang dihasilkan ( $m_D$ ) sebesar 0,33 liter. Pada variasi pendingin air menggunakan reflektor diperoleh hasil air destilasi teoritis ( $m_g$ ) sebesar 2,1 liter dan hasil air destilasi aktual ( $m_D$ ) sebesar 0,63 liter. Pada variasi pendingin udara, hasil air destilasi teoritis ( $m_g$ ) mencapai 2,44 liter dan air destilasi aktual ( $m_D$ ) sebesar 1,12 liter.



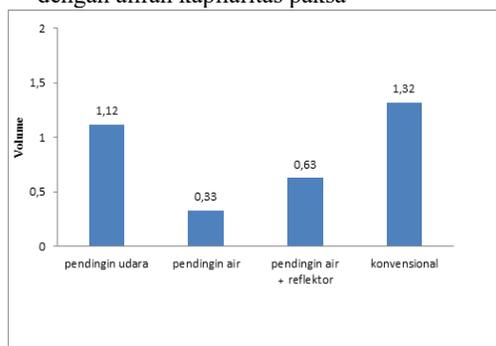
**Gambar 12.** Efisiensi aktual destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa dan alat destilasi konvensional



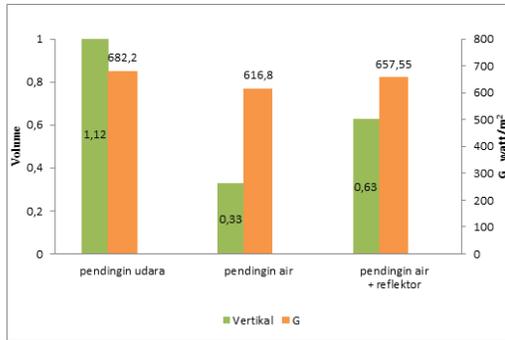
**Gambar 13.** Efisiensi aktual dan energi surya yang datang (G) pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa



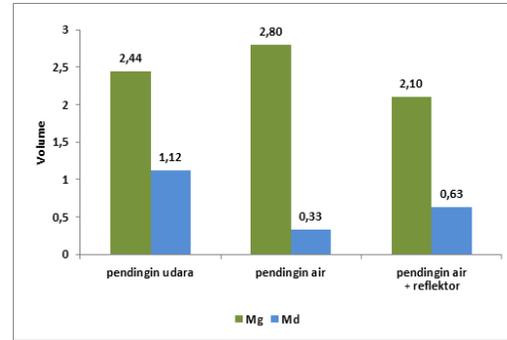
**Gambar 14.** Efisiensi teoritis dan aktual pada alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa



**Gambar 15.** Hasil air alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa dan alat destilasi konvensional



**Gambar 16.** Hasil air destilasi yang didapat ( $m_D$ ) dan energi surya yang datang ( $G$ ) pada alat destilasi jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa



**Gambar 17.** Hasil air destilasi pada efisiensi teoritis ( $m_g$ ) dan aktual ( $m_D$ ) pada destilator jenis vertikal dengan aliran kapilaritas paksa.

Secara umum hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi dan hasil air destilasi pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa lebih baik dibandingkan efisiensi dan hasil air destilasi pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami. Hal tersebut disebabkan terutama oleh terjadinya kekeringan kain absorber pada alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami. Kekeringan disebabkan karena jumlah air pada kain yang menguap lebih banyak dibandingkan jumlah massa air yang masuk/ mengalir pada kain dari bak air tempat kain absorber dicelupkan. Kekeringan yang terjadi pada kain absorber walau sesaat akan mempersulit mengalirnya air dari bak ke kain absorber pada waktu berikutnya bahkan dapat menghentikan aliran air dari bak ke kain absorber. Kecepatan mengalirnya air dari bak ke kain absorber sangat ditentukan oleh sifat kapilaritas kain absorber, hal ini tergantung dari bahan kain, jumlah serat kain dan ketinggian permukaan air dalam bak ke bagian tertinggi dari kain. Hasil air destilasi alat destilasi konvensional masih lebih baik dari alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami maupun paksa. Hal tersebut terutama karena jumlah energi matahari yang diterima jenis konvensional lebih banyak dibandingkan jumlah energi matahari yang dapat diterima alat destilasi vertikal

## V. Penutup

Dari analisis hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada variasi pendingin air, alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas alami menghasilkan efisiensi teoritis 21,52 %, efisiensi aktual 8,91 % dan air destilasi 0,57 liter/ $m^2$  per hari. Pada variasi pendingin air dan reflektor dihasilkan efisiensi teoritis 14,69 %, efisiensi aktual 5,76 % dan air destilasi 0,87 liter/ $m^2$  per hari. Pada variasi pendingin udara dihasilkan efisiensi teoritis 16,48 %, efisiensi aktual 7,50 % dan air destilasi 0,51 liter/ $m^2$  per hari.
2. Efisiensi aktual alat destilasi konvensional mencapai 27,56 % dan air destilasi rata-rata tiap hari sebanyak 1,85 liter/ $m^2$ .
3. Alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa menghasilkan rata-rata 1,12 liter per hari pada variasi pendingin udara, pada variasi pendingin air diperoleh 0,49 liter dan pada variasi pendingin air dan reflektor dihasilkan air destilasi sebanyak 0,63 liter tiap harinya. Alat destilasi konvensional dapat menghasilkan rata-rata 1,34 liter perhari.
4. Efisiensi teoritis alat destilasi vertikal dengan aliran kapilaritas paksa pada variasi pendingin udara dapat mencapai 47,26% dan efisiensi aktual sebesar 26,26%. Pada variasi pendingin air dihasilkan efisiensi teoritis 33,49 % dan efisiensi aktual 7,60 %. Pada variasi pendingin air dan reflektor dihasilkan efisiensi teoritis 42,63 % dan efisiensi aktual 12,79%. Alat destilasi konvensional dapat mencapai efisiensi teoritis sebesar 32,63% .

## Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sanata Dharma yang telah membiayai penelitian ini.

## Daftar Pustaka

1. Arismunandar, Wiranto, 1995. Teknologi Rekayasa Surya. Jakarta : Pradnya Paramita.
2. Badran, A.A., Najjar, Y.S., 1992, The inverted trickle flat plate solar collector, Proc. International Renewable Energy Conference, Amman, Jordan, June 22–26, M. Audi, ed., 1 (1992) 119–129.

3. Badran, A.A., Hamdan, M.A., 1993, Inverted trickle solar still, 4th Arab International Solar Energy Conference, Amman, Jordan November 20–25, 1993, Publication of Royal Scientific Society, Amman, Jordan, 2 (1993) 763–773.
4. Bloemer, J.W., Gibling, J.A., Lof, G.O.G., 1965, Solar distillation, a review of Battle experience, Proc, 1st Intern. Symposium. Water Desalination, Washington, DC.
5. Boukar, M., Harmim, A., 2004, Parametric study of a vertical solar still under desert climatic conditions, *Desalination* 168, 21–28.
6. Boukar, M., Harmim, A., 2005, Performance evaluation of one-sided vertical solar still tested in the Desert of Algeria, *Desalination*, 183, 113–126.
7. Boukar, M., Harmim, A., 2007, Design parameters and preliminary experimental investigation of an indirect vertical solar still, *Desalination* 203, 444–454
8. Boukar, M., Harmim, M.A.A., 2008, The 3<sup>rd</sup>, International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1<sup>st</sup>, Arab Water Forum , Desalting Goundwater Using Two Vertical Solar Stills in The Desert of Algeria.
9. Boukar, M., Harmim, M.A.A., 2010, EFEEA'10 International Symposium on Environment Friendly Energies in Electrical Applications, 2-4 November 2010, Ghardaia, Algeria, Results of three months tests of vertical solar, still under desert climate,
10. Coffey, J.P., 1975, Vertical solar distillation, *Solar Energy*, 17, 375–378.
11. Dunkle, R.V., 1976, Solar distillation and combined distillation and water heating for tropical areas. Conf. Application of Solar Energy, pp. 148–172.
12. Garcia Rodriguez, L. Gomez-Camacho, C., 1999, Design parameters selection for a distillation system coupled to a solar parabolic trough, *Desalination*, 122, 195–204.
13. Garg, H.P., Hann, H.S., 1976, Effect of climatic, operational and design parameters on the year round performance of single sloped and double sloped solar stills under Indian arid zones conditions. *Solar Energy*, 1, 159.
14. Headly, O.St., Springer, B.G.F., 1970, Effects of design and empirically variable parameters on solar still performances, 3rd Internat. Symp. on Fresh Water from Sea, 1, 669–677.
15. Kiatsiriroat, T., 1989, *Asian J. Technol. Dev.*, 6(1), 15–28.
16. Kunze, H. H.,(2001), A New Approach To Solar Desalination For Small- And Medium-Size Use In Remote Areas, *Desalination*, 139, pp 35–41
17. Malick, M.A.S., Tiwari, G.N., Sodha, M.S., 1982, *Solar Distillation*. Pergamon Press.
18. Ramli, M., Wibulswas, P., 1984, Solar stills with vertical and flat absorbing surface, Regional seminar on simulation and design in solar energy applications, UNESCO-USAID, Bangkok.
19. Singh, S.K., Bhatnan, V.P., Tiwari, G.N., 1996, Design parameters for concentrator assisted solar distillation system, *Energy Conves. Mgmt.*, 37(2), 242–252.
20. Tanaka, K., Yamashita, A., Watanabe, K., 1982, Experimental and analytical study of the tilted wick type solar still, in: *Solar World Forum*, Vol. 2, Pergamon Press, Oxford.
21. Tiwari, G.N., 1992, Recent advances in solar distillation. In R. Kamal, K.P. Maheshwari and R.L. Sawhney, eds., *Solar Energy and Energy Conservation*. Chapter 2, Wiley Eastern Limited.
22. Wibulswas, P., 1982, Development of solar stills having acrylic plastic covers in Thailand, *Alternative Energy Sources IV*, Ann Arbor Science, Michigan, pp. 13–393.
23. Wibulswa, P., Tadtiam, S., 1984, Improvement of a basin type solar still by means of vertical back wall. Internat. Symp. Workshop on Renewable Energy Sources, Lahore.
24. Yeh, H.M., Chen, L.C., 1986, The effects of climatic, design and operational parameters on the performance of wick type distillers. *Energy Conves. Mgmt.*, 26, 175.

Halaman ini kosong