

**EFEK ABSORBTIVITAS ABSORBER PADA KINERJA  
DISTILASI AIR ENERGI SURYA KACA GANDA**

***EFFECTS OF ABSORBER ABSORPTIVITY ON PERFORMANCE  
OF DOUBLE GLA SOLAR ENERGY WATER DISTILLATION***

**<sup>1</sup>Rusdi Sambada, <sup>2</sup>Sudjito Soeparman, <sup>3</sup>Widya Wijayanti, <sup>4</sup>Eko Siswanto**

<sup>1,2,3</sup>*Fakultas Ekonomi, Universitas Pamulang Tangerang Selatan*

<sup>3</sup>*Fakultas Teknik, Universitas Pamulang Tangerang Selatan*

*email : <sup>1\*</sup>sambada@usd.ac.id*

**ABSTRACT**

*One of the determinants of the wick type solar water distillation performance is the absorbtivity of the absorber. The higher the absorbency of the absorber, the better the wick type solar water distillation performance. The absorber material determines the absorber's absorbtivity. Absorber absorbtivity value can decrease due to water contaminants and time of use. The performance of the wick type solar water distillation can be maintained from the impact of reducing the absorbance of the absorber by increasing the inlet water temperature. In this study, the inlet water temperature of the wick type was raised in a more straightforward way than previous studies. In this study, the temperature of the inlet water was increased by utilizing condensation heat using double glass. In conventional wick types, condensation heat energy is the energy that is not utilized and wasted into the environment. This study aims to reveal the effect of absorber absorbtivity in solar water distillation with double glass. In this study, the effect of absorber absorbtivity on the conventional wick type solar water distillation is used as a comparison. The research will be conducted with a simulation method based on the energy balance of the main components of the distillation. The simulation is carried out with the TrnSys software, which is integrated with the double glass distillation model with the Fortran program. The absorber absorbtivity was varied by 0.4, 0.6, 0.7, 0.85, and 0.9. The results showed that the performance of wick type solar water distillation with double glass could be more stable than conventional wick type solar water distillation with an average efficiency of 38.8% better at absorber absorbtivity between 0.4 to 0.9.*

**Keywords : Condensation Heat, Double Glass, Absorber Absorbtivity**

**ABSTRAK**

Salah satu faktor penentu kinerja distilasi air jenis absorber kain adalah absorbtivitas absorber. Semakin tinggi absorbtivitas absorber semakin baik kinerja distilasi air jenis absorber kain. Absorbtivitas absorber ditentukan oleh bahan absorber. Nilai absorbtivitas absorber dapat turun karena zat kontaminan air dan umur pemakaian. Kinerja distilasi air energi surya jenis absorber kain dapat dipertahankan dari dampak penurunan absorbtivitas absorber dengan menaikkan temperatur air masuk. Pada penelitian ini temperatur air masuk jenis absorber kain dinaikkan dengan cara yang lebih sederhana dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini temperatur air masuk dinaikkan dengan memanfaatkan panas pengembunan menggunakan kaca ganda. Pada jenis absorber kain konvensional energi panas pengembunan merupakan energi yang tidak dimanfaatkan dan terbuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengungkapkan efek absorbtivitas absorber pada distilasi air energi surya dengan kaca ganda. Pada penelitian ini efek absorbtivitas absorber pada distilasi air energi surya jenis absorber kain konvensional akan digunakan sebagai pembanding. Penelitian akan dilakukan dengan metode simulasi berdasarkan kesetimbangan energi dari komponen utama distilasi. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak TrnSys yang diintegrasikan dengan model distilasi kaca ganda dengan program Fortran. Absorbtivitas absorber divariasikan sebesar 0,4; 0,6; 0,7; 0,85 dan 0,9. Hasil penelitian menunjukkan kinerja distilasi air energi surya jenis absorber kain dengan kaca ganda dapat lebih bertahan dibandingkan distilasi air energi surya jenis kain konvensional dengan efisiensi rata-rata 38,8% lebih baik pada absorbtivitas absorber antara 0,4 sampai 0,9

**Kata Kunci : Panas Pengembunan, Kaca Ganda, Absorbtivitas Absorber**

## PENDAHULUAN

Penjernihan air dengan distilasi surya (DS) merupakan cara yang mudah dan murah mendapatkan air minum terutama di daerah terpencil (Omara, Kabeel and Abdullah, 2017). Sebuah DS harus mudah dibuat dan dioperasikan serta efektif menghasilkan air bersih (Shekarchi and Shahniah, 2019). Kinerja DS sederhana umumnya rendah (Omara, Kabeel and Abdullah, 2017). Penelitian DS umumnya dilakukan untuk meningkatkan produktivitas (Hansen, Narayanan and Murugavel, 2015). Hal penting disain DS adalah dapat meminimalkan rugi panas dan memaksimalkan energi panas yang terperangkap (Das *et al.*, 2020). Parameter yang mempengaruhi energi panas terperangkap diantaranya adalah temperatur air masuk (Muthu Manokar, Kalidasa Murugavel and Esakkimuthu, 2014). Semakin tinggi temperatur air masuk semakin besar energi yang terperangkap.

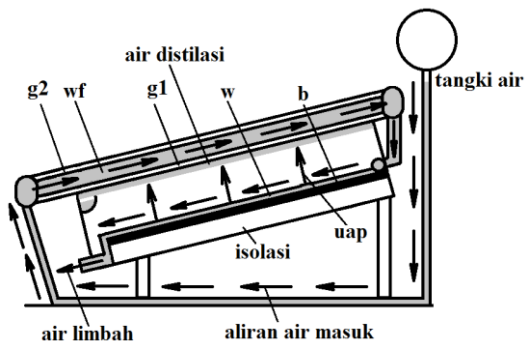
Sathyamurthy (Sathyamurthy *et al.*, 2017) meneliti penggunaan kolektor pemanas air untuk menaikkan temperatur air masuk. Peningkatan produksi yang diperoleh sebesar 36%. El-Agouz (El-Agouz, El-Samadony and Kabeel, 2015), (El-Agouz, 2014) mesirkulasikan air buangan pada sisi keluar distilasi kain sebagai air masuk menggunakan pompa. Kenaikkan produksi sebesar 57.2% (El-Agouz, El-Samadony and Kabeel, 2015) terhadap jenis bak diperoleh secara simulasi dan sebesar 53% (El-Agouz, 2014) diperoleh secara ekaperimen.

Penggunaan kolektor atau air buangan dari kerugian panas pada sisi keluar untuk menaikkan temperatur air masuk menyebabkan disain DS menjadi kompleks. Pada DS jenis kain dengan kaca ganda (DGW) pada penelitian ini, temperatur air masuk ditingkatkan dengan memanfaatkan energi panas pengembunan melalui kaca penutup menggunakan kaca ganda. Disain DGW pada penelitian ini dapat meningkatkan energi terperangkap dengan cara yang lebih sederhana dari penelitian sebelumnya. Faktor lain yang mempengaruhi besarnya energi panas terperangkap adalah absorbtivitas absorber. Absorbtivitas absorber ditentukan diantaranya oleh bahan, zat kontaminan air yang didistilasi dan umur pemakaian absorber. Penelitian ini bertujuan mengungkapkan efek absorbtivitas absorber pada distilasi DGW. Kinerja distilasi DGW akan dibandingkan dengan distilasi air energi surya jenis absorber kain konvensional (CW)

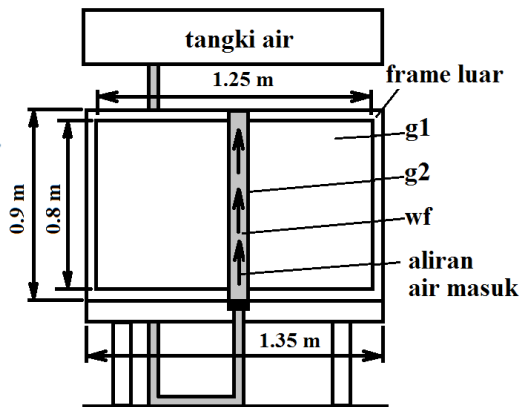
**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi berdasarkan kesetimbangan energi pada tiap bagian utama DGW dan CW. Temperatur dari tiap bagian tersebut dan hasil air distilasi yang dihasilkan DGW dan CW dapat dihitung. Perhitungan dilakukan dengan metode Euler secara numerik untuk menyelesaikan persamassan diferensial orde satu secara simultan. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak TrnSys. Integrasi model DGW dan CW ke dalam perangkat lunak TrnSys dilakukan dengan program Fortran. Pada simulasi, absorbtivitas absorber akan divariasikan sebanyak lima variasi yakni 0,4; 0,6; 0,7; 0,85 dan 0,9.

Skema model DGW ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Bagian bagian utama DGW adalah kaca atas (g2), kaca bawah (g1), wick absorber (b) dan frame luar. Kaca atas (g2) dan kaca bawah (g1) mempunyai tebal 3 mm.



Gambar 1. DGW (samping)

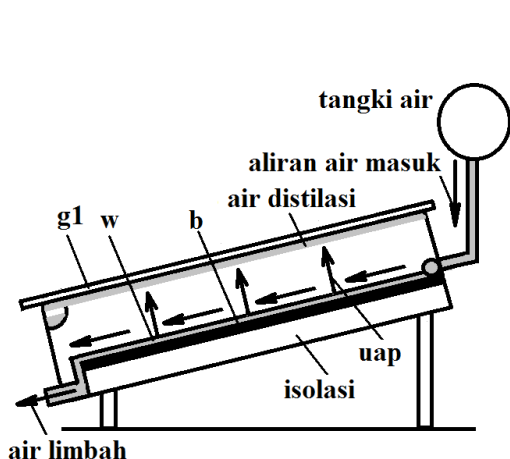


Gambar 2. DGW (depan)

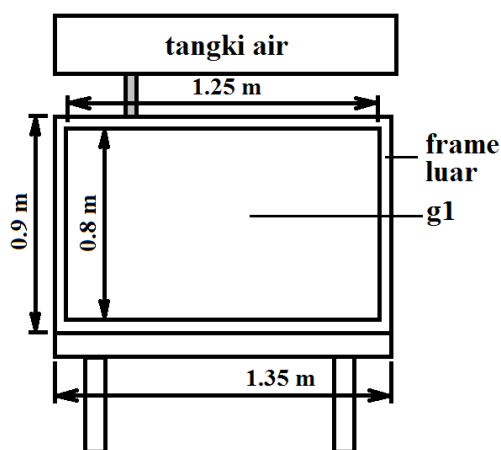
Luas kaca atas lebih kecil dibanding kaca bawah yakni 10% dari luas kaca bawah. Posisi kaca atas ada ditengah kaca bawah. Kain absorber berwarna hitam. Isolasi terbuat dari bahan isolasi serat kaca dengan nilai konduktivitas termal 0.043 W/m.K. DGW dan CW mempunyai panjang 1.25 m, lebar 0.8 m, kemiringan model 15°, absorbtivitas kaca penutup 0.09 dan reflektivitas kaca penutup 0.05. Jarak kaca atas (g2) dan kaca bawah (g1) pada DGW adalah 2 mm.

Air masuk pada DGW mengalir melalui celah antara kaca atas (g2) dan kaca bawah (g1). Air masuk mengalir dari bagian bawah kaca penutup ke bagian atas kaca penutup, kemudian masuk ke absorber (Gambar 1 dan Gambar 2). Air masuk menerima panas penguapan dari uap yang mengembun pada permukaan dalam kaca bawah (g1) sehingga temperatur air masuk meningkat.

Skema CW ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Bagian-bagian utama CW adalah sama dengan DGW kecuali tidak adanya kaca atas (g2). CW hanya mempunyai satu kaca (g1). Air masuk model CW berasal dari tangki air yang dialirkan langsung ke absorber bagian atas dan mengalir ke bagian bawah absorber (Gambar 3). Air masuk pada CW tidak mengalami pemanasan sebelum masuk absorber sehingga temperatur air masuk CW lebih rendah dibandingkan temperatur air masuk DGW. Temperatur air masuk CW sekitar 29°C.



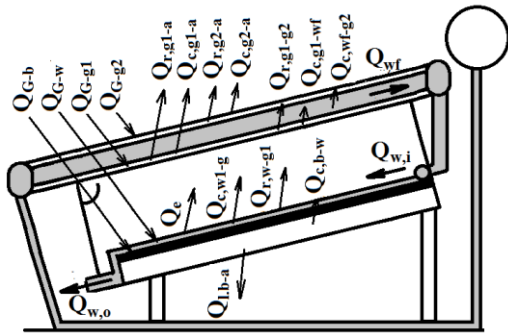
Gambar 3. CW (samping)



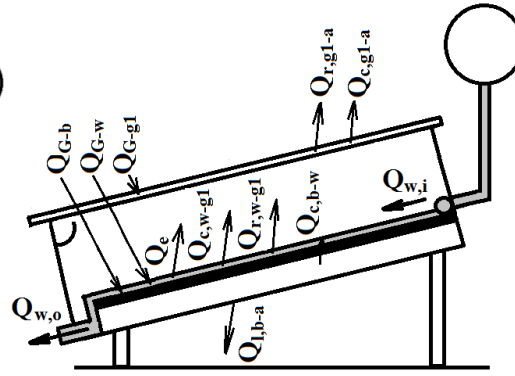
Gambar 4. CW (depan)

Model matematik untuk simulasi DGW dan CW disusun berdasarkan kesetimbangan energi yakni energi yang tersimpan di tiap bagian adalah sama dengan selisih energi yang masuk dan energi yang keluar bagian tersebut. Model matematik yang disusun didasarkan pada asumsi (a) tidak ada gradien temperatur antara kaca penutup dengan absorber, (b) tidak ada kebocoran uap keluar, (c) pengembunan uap dikaca seragam dengan kapasitas panas yang dapat diabaikan, (d) luasan absorber dan kaca sama besar dengan posisi kaca penutup sejajar absorber, (e) semua air hasil destilasi tertampung, (f) pantulan energi surya dari embun ke absorber diabaikan, (g) laju alir air pada absorber seragam, (h) distribusi temperatur absorber seragam dan (i) proses pada kondisi tunak.

Kesetimbangan energi pada DGW terdiri dari kesetimbangan energi pada kaca atas (g2), air diantara kaca atas dan bawah (wf), kaca bawah (g1), air di absorber (w) dan absorber (b) seperti ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Kestimbangan energi pada DGW



Gambar 6. Kestimbangan energi pada CW

Kestimbangan energi pada kaca atas (g2) adalah:

$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_{g2} = Q_{G-g2} + Q_{c,wf-g2} + Q_{r,g1-g2} - Q_{r,g2-a} - Q_{c,g2-a} \quad (1)$$

dengan  $Q_{G-g2}$  radiasi surya ke  $g_2$ , watt,  $Q_{c,wf-g2}$  energi panas dari  $w_f$  ke  $g_2$ , watt,  $Q_{r,g1-g2}$  radiasi panas dari  $g_1$  ke  $g_2$ , watt,  $Q_{r,g2-a}$  radiasi panas dari  $g_2$  ke sekitar, watt, dan  $Q_{c,g2-a}$  konveksi panas dari  $g_2$  ke sekitar, watt.

Kestimbangan energi pada air diantara kaca atas dan kaca bawah (wf) adalah:

$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_{wf} = Q_{wf} + Q_{c,g1-wf} - Q_{c,wf-g2} \quad (2)$$

dengan  $Q_{wf}$  energi panas penguapan  $w_f$ , watt, dan  $Q_{c,g1-wf}$  konveksi panas dari  $g_1$  ke  $w_f$ , watt.

Kestimbangan energi pada kaca bawah (g1) adalah:

$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_{g1} = Q_{D,G-g1} + Q_{r,w-g1} + Q_{c,w-g1} + Q_e - Q_{c,g1-wf} - Q_{r,g1-g2} - Q_{r,D,g1-a} - Q_{c,D,g1-a} \quad (3)$$

dengan  $Q_{G-g1}$  radiasi surya ke  $g_1$ , watt,  $Q_{r,w-g1}$  radiasi dari  $w$  ke  $g_1$ , watt,  $Q_{c,w-g1}$  konveksi dari  $w$  ke  $g_1$ , watt,  $Q_e$  panas penguapan, watt,  $Q_{r,g1-a}$  radiasi dari  $g_1$  ke sekitar, watt, dan  $Q_{c,g1-a}$  konveksi panas dari  $g_1$  ke sekitar, watt,

Kestimbangan energi air di absorber (w) adalah:

$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_w = Q_{D,G-w} + Q_{c,b-w} + Q_{w,i} - Q_{r,w-g1} - Q_{c,w-g1} - Q_e - Q_{w,o} \quad (4)$$

dengan  $Q_{G-w}$  radiasi surya ke  $w$ , watt,  $Q_{c,b-w}$  konveksi dari absorber ke  $w$ , watt,  $Q_{w,i}$  rugi panas pada sisi masuk, watt, and  $Q_{w,o}$  rugi panas pada sisi keluar, watt,

Kestimbangan pada energi absorber (b).

$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_b = Q_{D,G-b} - Q_{c,b-w} - Q_{l,b-a} \tag{5}$$

dengan  $Q_{G-b}$  radiasi surya ke absorber, watt, and  $Q_{l,b-a}$  rugi panas dari absorber ke sekitar, watt.

Kesetimbangan energi pada CW terdiri atas kesetimbangan energi pada kaca (g1), air di absorber (w) dan absorber (b) seperti ditunjukkan Gambar 6

$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_{g1} = Q_{S,G-g1} + Q_{r,w-g1} + Q_{c,w-g1} + Q_e - Q_{c,S,g1-a} - Q_{r,S,g1-a} \tag{6}$$

Kesetimbangan energi pada air di absorber (w) adalah:

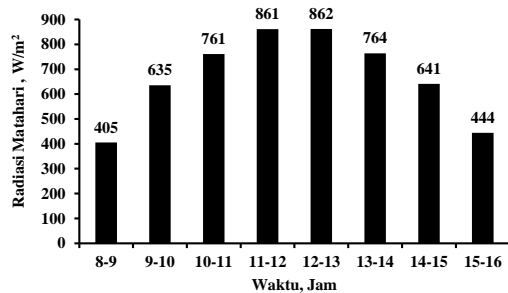
$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_w = Q_{S,G-w} + Q_{c,b-w} + Q_{w,i} - Q_{r,w-g1} - Q_{c,w-g1} - Q_e - Q_{w,o} \tag{7}$$

Kesetimbangan energi pada absorber (b) adalah

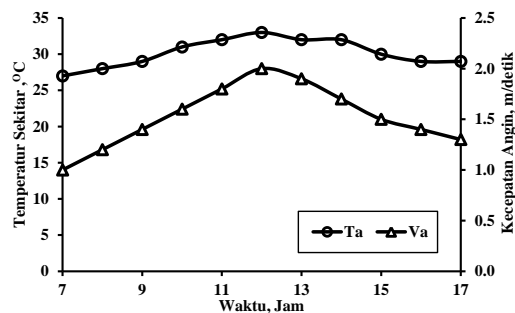
$$\left(m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt}\right)_b = Q_{S,G-b} - Q_{c,b-w} - Q_{l,b-a} \tag{8}$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan energi panas radiasi surya, temperatur sekitar dan kecepatan angin yang digunakan pada simulasi. Gambar 9 menunjukkan air distilasi yang dihasilkan DGW dan CW pada lima variasi absorbtivitas absorber.

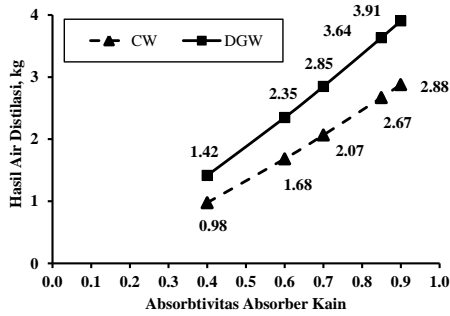


Gambar 7. Radiasi surya yang digunakan pada simulasi

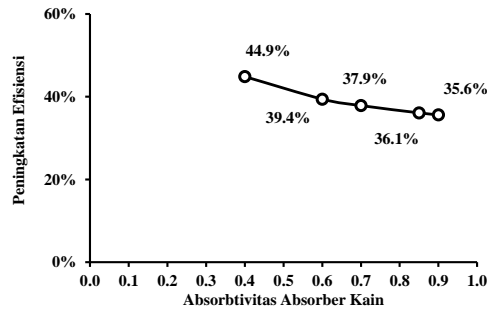


Gambar 8. Temperatur sekitar dan kecepatan angin yang digunakan pada simulasi

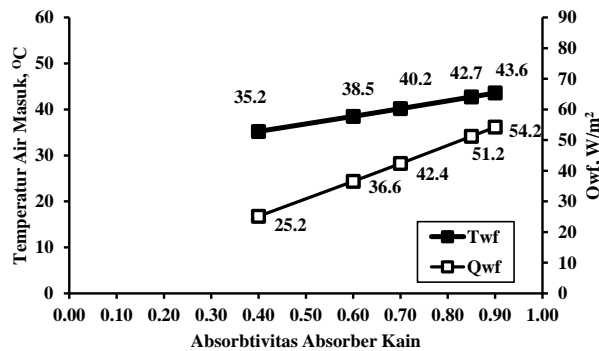
DGW menghasilkan air distilasi yang lebih banyak dibandingkan CW. Air distilasi yang dihasilkan DGW dan CW semakin sedikit pada absorbtivitas absorber yang semakin rendah. Banyak air distilasi yang dihasilkan berbanding lurus dengan efisiensi distilasi, dengan kata lain efisiensi distilasi DGW adalah 44.9%, 39.4%, 37.9%, 36.1% dan 35.6% lebih besar dibandingkan CW pada absorbtivitas absorber 0,4; 0,6; 0,7; 0,85 dan 0,9 (Gambar 10). Dengan kata lain efisiensi DGW rata-rata 38,8% lebih baik dibandingkan CW.



Gambar 9. Hasil air distilasi pada semua variasi absorbtivitas absorber



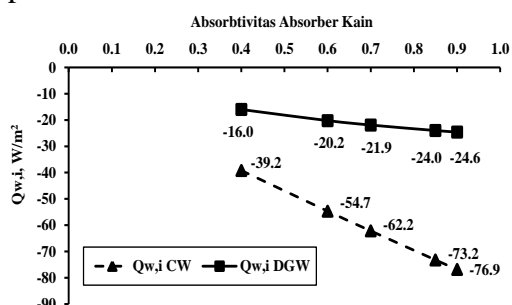
Gambar 10. Peningkatan efisiensi DGW terhadap CW



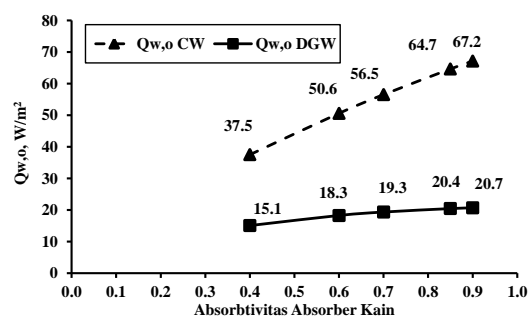
Gambar 11. Energi panas pengembunan dan Temperatur air masuk pada DGW

Celah antara kaca atas dan kaca bawah pada DGW merupakan saluran tempat mengalirnya air masuk. Air masuk mengalir melalui celah dari bagian bawah kaca penutup ke bagian atas kaca penutup (Gambar 1 dan Gambar 2). Setelah itu air akan masuk ke absorber. Temperatur air masuk saat memasuki celah pada bagian bawah kaca penutup sekitar 28<sup>o</sup>C-30<sup>o</sup>C. Selama mengalir ke bagian atas kaca penutup, air masuk menerima energi panas. Energi panas yang diterima air masuk terutama berasal dari energi panas yang dilepaskan uap air. Energi panas pengembunan yang diterima air masuk sebesar Q<sub>wf</sub> (Gambar 11) menyebabkan temperatur air masuk DGW menjadi bertambah. Gambar 11 menunjukkan temperatur air masuk semakin tinggi dengan naiknya absorbtivitas absorber. Pada CW, energi panas pengembunan semuanya dibuang ke lingkungan tanpa dimanfaatkan. Gambar 11 memperlihatkan Q<sub>wf</sub> semakin besar dengan semakin besarnya absorbtivitas absorber. Absorbtivitas absorber yang semakin tinggi menyebabkan energi surya yang terserap juga semakin banyak. Semakin banyak energi surya yang terserap semakin banyak air pada absorber yang menguap dan mengembun di kaca. Semakin banyak uap air yang mengembun di kaca semakin banyak energi panas pengembunan yang diterima air masuk.

Selama proses distilasi, kedua model mengalami kerugian panas pada sisi masuk ( $Q_{w,i}$ ) dan kerugian panas pada sisi keluar ( $Q_{w,o}$ ).  $Q_{w,i}$  dan  $Q_{w,o}$  dipengaruhi oleh besar temperatur air masuk.



Gambar 12. Kerugian energi sisi masuk



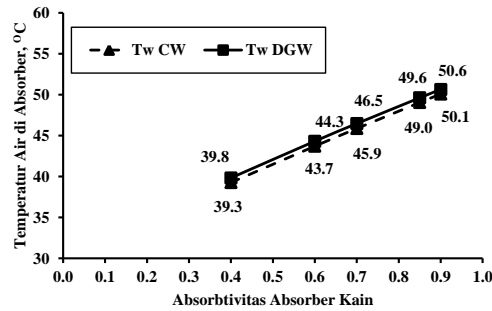
Gambar 13. Kerugian energi sisi keluar

Temperatur air masuk umumnya lebih rendah dibandingkan temperatur air di absorber, hal tersebut menyebabkan kerugian energi panas pada sisi masuk ( $Q_{w,i}$ ). Semakin rendah temperatur air masuk, semakin besar  $Q_{w,i}$ . Temperatur air masuk pada DGW lebih tinggi dibandingkan CW. Temperatur yang lebih tinggi menyebabkan kerugian panas sisi masuk ( $Q_{w,i}$ ) pada DGW lebih kecil dibandingkan CW. Gambar 12 menunjukkan kerugian energi panas sisi masuk ( $Q_{w,i}$ ) DGW rata-rata hanya sebesar 35,6% dari  $Q_{w,i}$  pada CW. Absorbtivitas absorber yang semakin besar menyebabkan temperatur air pada absorber semakin tinggi. Temperatur air pada absorber yang semakin tinggi menyebabkan perbedaan temperatur air pada absorber dengan temperatur air masuk semakin besar sehingga kerugian sisi masuk juga membesar (Gambar 12).

Selain kerugian di sisi masuk ( $Q_{w,i}$ ), kerugian lain yang dipengaruhi absorbtivitas absorber juga terjadi di sisi keluar ( $Q_{w,o}$ ). Kerugian di sisi keluar terjadi karena sebagian air yang masuk tidak menguap dan keluar dari alat distilasi sebagai air panas. Energi panas yang dibawa air keluar tersebut merupakan kerugian energi pada sisi keluar. Gambar 13 menunjukkan besar  $Q_{w,o}$  pada DGW dan CW. Semakin besar absorbtivitas absorber semakin besar  $Q_{w,o}$ . Terlihat jelas bahwa  $Q_{w,o}$  pada DGW lebih kecil dibanding  $Q_{w,o}$  pada CW. Rata-rata  $Q_{w,o}$  DGW pada lima variasi absorptivitas absorber hanya sekitar 34,56% dari  $Q_{w,o}$  CW. Nilai  $Q_{w,o}$  ditentukan oleh banyak massa air yang tidak menguap dan keluar dari alat distilasi serta perbedaan temperatur air keluar tersebut dengan temperatur air masuk. Banyak massa air yang tidak menguap keluar dari alat distilasi adalah selisih banyak massa air yang masuk ke model distilasi dengan banyak air hasil distilasi. Pada lima variasi absorbtivitas absorber, DGW



menghasilkan air hasil distilasi yang lebih banyak dibandingkan CW. Hal tersebut menyebabkan banyak air yang tidak menguap dan keluar dari DGW lebih sedikit dibandingkan CW. Temperatur air yang tidak menguap keluar dari DGW dan CW adalah sama dengan temperatur rata-rata air di absorber ( $T_w$ ).



Gambar 14. Temperatur air pada absorber

Gambar 14 menunjukkan temperatur air di absorber dari DGW dan CW. Temperatur air di absorber ( $T_w$ ) kedua model dapat dikatakan sama. Temperatur air masuk DGW lebih besar dibandingkan CW sehingga beda antara temperatur air keluar dengan temperatur air masuk DGW lebih kecil dibandingkan CW. Banyak air yang keluar dari model distilasi dan perbedaan temperatur yang lebih kecil pada DGW menyebabkan  $Q_{w,o}$  pada DGW lebih kecil dibandingkan CW.

## KESIMPULAN

Efisiensi distilasi DGW rata-rata 38,8% lebih baik dibandingkan efisiensi CW pada absorbtivitas absorber antara 0,4 sampai 0,9, Panas penguapan yang dapat dimanfaatkan distilasi DGW sebesar 25,2 W/m<sup>2</sup> sampai 54,2 W/m<sup>2</sup> pada absorbtivitas absorber 0,4 sampai 0,9 dan Kerugian panas DGW lebih rendah dibandingkan CW pada absorbtivitas absorber 0,4 sampai 0,9. Kerugian panas di sisi masuk DGW sebesar 35,6% dari CW dan di sisi keluar sebesar 34,6% dari CW.

## DAFTAR PUSTAKA

- Das, D. et al. (2020) 'Solar still distillate enhancement techniques and recent developments', *Groundwater for Sustainable Development*. Elsevier B.V., 10(February), p. 100360. doi: 10.1016/j.gsd.2020.100360.
- El-Agouz, S. A. (2014) 'Experimental investigation of stepped solar still with continuous water circulation', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 86, pp. 186–193. doi: 10.1016/j.enconman.2014.05.021.

- El-Agouz, S. A., El-Samadony, Y. A. F. and Kabeel, A. E. (2015) 'Performance evaluation of a continuous flow inclined solar still desalination system', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 101, pp. 606–615. doi: 10.1016/j.enconman.2015.05.069.
- Hansen, R. S., Narayanan, C. S. and Murugavel, K. K. (2015) 'Performance analysis on inclined solar still with different new wick materials and wire mesh', *Desalination*. Elsevier B.V., 358, pp. 1–8. doi: 10.1016/j.desal.2014.12.006.
- Muthu Manokar, A., Kalidasa Murugavel, K. and Esakkimuthu, G. (2014) 'Different parameters affecting the rate of evaporation and condensation on passive solar still - A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 38, pp. 309–322. doi: 10.1016/j.rser.2014.05.092.
- Omara, Z. M., Kabeel, A. E. and Abdullah, A. S. (2017) 'A review of solar still performance with reflectors', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 68(October 2016), pp. 638–649. doi: 10.1016/j.rser.2016.10.031.
- Sathyamurthy, R. et al. (2017) 'A Review of integrating solar collectors to solar still', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 77(October 2015), pp. 1069–1097. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.223.
- Shekarchi, N. and Shahnian, F. (2019) 'A comprehensive review of solar driven desalination technologies for off grid greenhouses', *International Journal of Energy Research*, 43(4), pp. 1357–1386. doi: 10.1002/er.4268.