

Studi Eksperimental Kinerja Kolektor Surya pada Alat Desalinasi *Vacuum Natural*

Faisal Afif¹, Gerry Mathias Sihalo², Eko Yohanes Setyawan^{3*}

^{1,2}Universitas Sumatera Utara ; Jl. Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Medan, Telp; (061) 8214033

Jurusan Teknik Mesin, FT USU, Medan, Sumatera Utara

³Institut Teknologi Nasional Malang; Jl. Sigura-gura N0. 2 Malang, Telp; (0341) 551431

Jurusan Teknik Mesin, FT ITN Malang, Malang

e-mail: ¹faisalafifmesin@gmail.com, ²gerrymathias@yahoo.co.id,

^{3*}yohanes@lecturer.itn.ac.id

Abstrak

Kolektor surya pada alat desalinasi air laut tipe vacuum natural ini memanfaatkan energi panas radiasi yang diserap oleh kolektor untuk digunakan memanaskan air laut pada tekanan vakum didalam evaporator. Tekanan vakum dibuat agar air laut dapat menguap pada suhu rendah dibawah 100 °C. Pada penelitian ini digunakan dua kolektor surya yang disusun secara seri dengan dua ukuran pipa pemanas yang berbeda yaitu pipa pemanas ukuran 5/8 dan 1/2 inchi dan panjang yang berbeda yaitu 582 dan 1405 cm. Kedua kolektor ini juga menggunakan insulasi panas yang berbeda yaitu salah satu kolektor menggunakan rockwoll dan yang lainnya menggunakan polyurethane. Dari hasil penelitian yang dilakukan pada pukul 08.00-16.00 WIB dalam satu hari diperoleh suhu kolektor tertinggi kolektor adalah pada plat absorber kolektor 2 yaitu 115,76 °C dan suhu air sirkulasi rata-rata keluar sebesar 75,2 °C. Besar kehilangan panas kolektor 1 dan 2 adalah 11,12 MJ dan 11,46 MJ dan energi yang diserap air sirkulasi dari kolektor 1 dan 2 adalah sebesar 7,7884 MJ dan 8,28002 MJ. Dapat disimpulkan bahwa kinerja kolektor yang lebih baik adalah kinerja kolektor 2.

Kata kunci: Desalinasi, kolektor surya, vakum natural

1. PENDAHULUAN

Pada zaman di era modern ini, kebutuhan air bersih sangatlah tinggi untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga maupun industri. Selain itu, akibat semakin berkembangnya dunia industri menyebabkan beberapa sumber air menjadi tercemar sehingga dengan tingkat kebutuhan yang semakin tinggi dan sumber air bersih yang semakin sedikit akan menyebabkan suatu saat air bersih akan mengalami kelangkaan.

Teknologi desalinasi telah dikembangkan sejak lama menyerupai siklus hidrologi alami untuk mencegah kelangkaan air, tetapi teknologi ini tentunya memerlukan energi yang banyak dan mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan (Sharon dan Reddy, 2015). Sistem desalinasi konvensional yang dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar fosil juga turut berkontribusi emisi rumah kaca atau GHG (*Green House Gas*). Hal inilah yang mendorong para peneliti untuk mencari cara alternatif untuk

memberi daya pada sistem dengan energi terbarukan (Eltawil *et. al.*, 2009).

Daerah yang paling membutuhkan tambahan air bersih biasanya juga merupakan daerah yang memiliki intensitas matahari yang paling tinggi. Oleh sebab itu proses desalinasi yang menggunakan sumber energi panas dari matahari seharusnya menjadi suatu yang menjanjikan dalam pengaplikasian energi terbarukan pada desalinasi air laut. Namun pada situasi saat ini, hanya 0,02 % dari kapasitas desalinasi global yang menggunakan energi terbarukan (Garzia-Rodriguez, 2002).

Energi terbarukan yang digunakan oleh proses desalinasi umumnya berupa energi surya, angin, dan geothermal. Diantara ketiganya, 57% sistem desalinasi disuplai dengan tenaga surya sebagai energi terbarukan (Eltawil *et. al.*, 2009). Bahkan negara yang kaya akan bahan bakar fosil seperti Timur Tengah dan Bangsa Arab juga telah mengubah perhatian mereka

pada energi surya dengan tujuan dapat menyediakan air bersih tanpa mencemari lingkungan.

Sistem desalinasi bertenaga surya menggunakan kondensor yang terintegrasi dengan kolektor surya pelat datar dan pompa vakum dikembangkan untuk menghasilkan air tawar. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan meningkatkan produktivitas air, untuk semua salinitas air dibandingkan dengan sistem biasa karena adanya pompa vakum. Desalinasi matahari vakum secara alami dengan suhu rendah untuk menghasilkan air tawar dari air laut (Al-Kharabsheh dan Goswami, 2003).

Melihat begitu besarnya potensi energi surya di Indonesia yang merupakan daerah khatulistiwa dimana senantiasa mendapatkan sinar matahari yang hampir sama sepanjang tahun dengan jumlah yang tidak terbatas, maka dalam penelitian ini dibuat alat desalinasi air laut yang memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber panas untuk menguapkan air laut.

2. DESALINASI

Desalinasi pada prinsipnya merupakan cara untuk mendapatkan air bersih melalui proses penyulingan air kotor. Secara umum terdapat berbagai cara yang sering digunakan untuk mendapatkan air bersih yaitu : perebusan, penyaringan, desalinasi dan lain-lainnya. Cara perebusan dilakukan hanya untuk mematikan kuman dan bakteri-bakteri yang merugikan, namun kotoran yang berupa padatan- padatan kecil tidak bisa terpisah dengan air. Penyaringan digunakan hanya untuk menyaring kotoran-kotoran yang berupa padatan kecil, namun kuman dan bakteri yang merugikan tidak bisa terpisah dari air. Cara desalinasi merupakan cara yang efektif digunakan untuk menghasilkan air bersih yang bebas dari kuman, bakteri, dan kotoran yang berupa padatan kecil. Proses desalinasi secara umum biasanya yang diambil hanyalah air kondensatnya, sedangkan konsentrat garam dibuang dan ini dapat berakibat buruk bagi kehidupan air laut (Ketut *et. al.*, 2011).

2.1 Desalinasi *Vacuum Natural*

Prinsip kerja desalinasi secara umum sebenarnya sangat sederhana. Air laut dipanaskan hingga menguap, dan kemudian uap yang dihasilkan dikondensasikan kembali dan ditampung di sebuah wadah. Air kondensat tersebut adalah air bersih. Sedangkan air laut yang tidak mendidih selama pemanasan adalah konsentrat garam. Proses desalinasi yang akan penulis bahas pada penelitian ini adalah desalinasi sistem vakum dengan modifikasi suplai panas yang bersumber dari air panas yang dihasilkan melalui kolektor surya.

Konsep dari sistem ini adalah memanfaatkan ruang vakum yang dibentuk secara alami untuk dapat mengevaporasikan sejumlah air laut pada tekanan rendah sehingga dapat berevaporasi dengan suplai energi panas yang lebih sedikit dibanding dengan tanpa menggunakan ruang vakum (tekanan atmosfer). Suplai energi panas yang sedikit dapat diambil dari kolektor surya plat datar dan / atau panas yang dibuang. Namun pada penelitian ini akan digunakan elemen pemanas dari alat penukar kalor yang disuplai melalui kolektor surya agar suplai panas dalam evaporator konstan. Keunikan dari sistem ini adalah cara gaya gravitasi dan tekanan atmosfer digunakan dalam pembentukan kondisi vakum (Al-Kharabsheh dan Goswami, 2003).

Pembentukan sistem vakum bertujuan untuk menurunkan tekanan ruang evaporator agar pemanasan dapat berlangsung dengan suplai panas yang rendah. Tekanan atmosfer akan sama dengan tekanan hidrostatik yang dibentuk dengan pipa air yang tingginya sekitar 10,34 meter. Jadi, jika ketinggian pipa lebih dari 10,34 meter dan ditutup dari bagian atas dengan air, dan air dibiarkan jatuh kebawah akibat gravitasi, air akan jatuh pada ketinggian sekitar 10,34 meter, dan membentuk ruang vakum di atasnya (Al-Kharabsheh dan Goswami, 2003).

2.2 Kolektor Surya Plat Datar

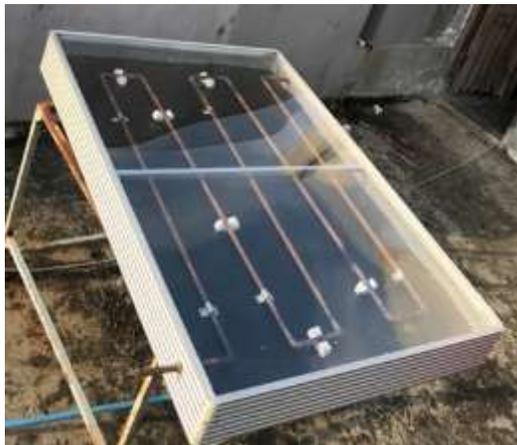
Kolektor surya plat datar merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir ke dalamnya dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Fluida yang dipanaskan berupa cairan minyak, air, oli, dan udara. Kolektor surya plat datar mempunyai temperatur keluaran dibawah 95 °C. Dalam aplikasinya kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air (Duffie, 2006).

Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar adalah dengan memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri. Tipe ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperatur dibawah 100 °C. Spesifikasi tipe ini dapat dilihat dari absorpternya yang berupa plat datar yang terbuat dari material

dengan konduktivitas termal tinggi, dan dilapisi dengan cat berwarna hitam. Kolektor plat datar memanfaatkan radiasi matahari langsung dan terpancar. Aplikasi umum kolektor tipe ini antara lain digunakan untuk pemanas air, pemanas gedung, pengkondisian udara, dan proses panas industri. Komponen penunjang yang terdapat pada kolektor plat datar antara lain, transparant cover, absorber, insulasi, dan kerangka(Duffie, 2006).

3. METODE PENELITIAN

Untuk melakukan studi eksperimental ini, dibuat dua buah kolektor surya dengan panjang pipa pemanas dan insulasi thermal yang berbeda. Pada kolektor 1 memiliki panjang pipa pemanas 582 cm ukuran 5/8 inci dengan lapisan insulasi panas terdiri dari rockwool, sterofoam, dan aluminium composite panel (ACP), sedangkan kolektor 2 memiliki panjang pipa pemanas 1405 cm ukuran 1/2 inci dengan lapisan insulasi panas terdiri dari polyurethane, sterofoam, dan aluminium composite panel (ACP). Kedua kolektor juga menggunakan kaca penutup (cover) yang berbeda dimana kolektor 1 menggunakan acrylic sedangkan kolektor 2 menggunakan kaca dengan tebal yang sama yaitu 2 mm. Kedua kolektor memiliki bahan pipa pemanas yang sama yaitu tembaga dan ukuran plat absorber yang sama yaitu 1,5 m².

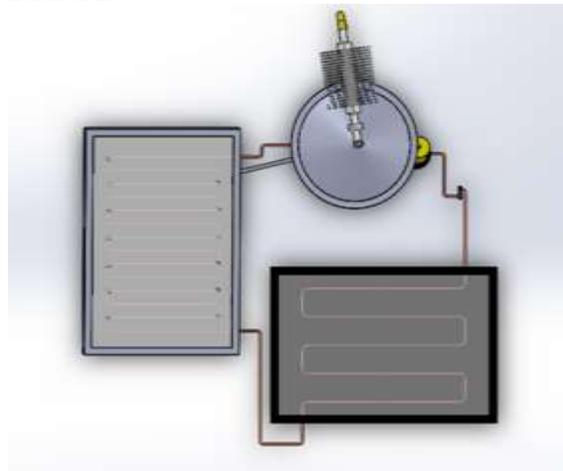


Gambar 1. Kolektor surya 1



Gambar 2. Kolektor surya 2

Kedua kolektor akan dirangkai dengan rangkaian seri dimana air yang bersirkulasi pada pipa pemanas pertama kali akan memasuki pipa pemanas kolektor 1 yang selanjutnya akan mengalir ke kolektor 2. Air yang bersirkulasi didalam pipa pemanas kolektor dialirkan oleh pompa yang memanfaatkan arus listrik dc dari photovoltaic. Setelah keluar dari kolektor 2, maka air sirkulasi akan memasuki evaporator yang kemudian akan terjadi perpindahan panas dari air sirkulasi yang telah dipanaskan di kolektor dengan air laut yang ada di evaporator melalui pipa pemanas. Selanjutnya air sirkulasi akan mengalir kembali ke kolektor 1 dan kolektor 2.



Gambar 3. Skema alat desalinasi

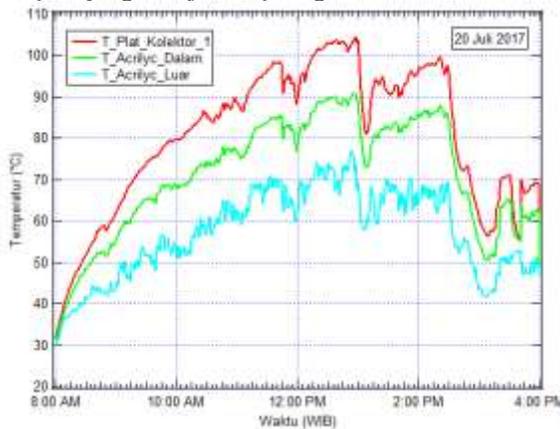
Untuk menghitung energi yang diserap oleh air sirkulasi oleh kolektor maka akan diukur suhu air sirkulasi sebelum masuk dan setelah keluar kolektor 1 dan juga sebelum masuk dan setelah keluar kolektor 2. Perekaman data suhu dilakukan setiap menitnya selama 8 jam mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 16.00

WIB. Besar intensitas radiasi matahari juga diukur setiap menitnya untuk menghitung besarnya energi yang sampai kepada kedua kolektor surya tersebut.

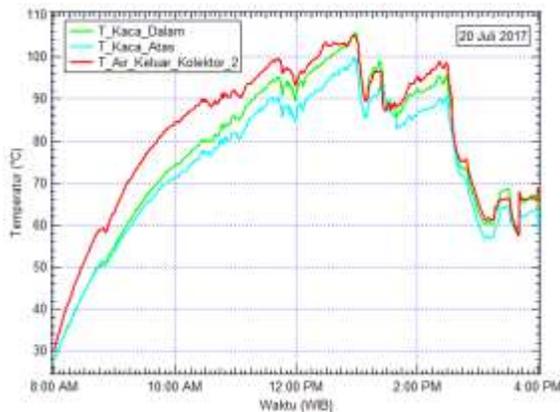
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Suhu Kolektor dan Air Sirkulasi

Pada saat pengujian mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB maka akan terjadi kenaikan dan penurunan suhu pada bagian-bagian kolektor yaitu plat absorber, kaca penutup bawah (cover bawah), dan kaca penutup atas (cover atas) begitu pula dengan air sirkulasi yang masuk dan keluar kolektor 1 dan kolektor 2 seperti yang ditunjukkan pada grafik berikut.



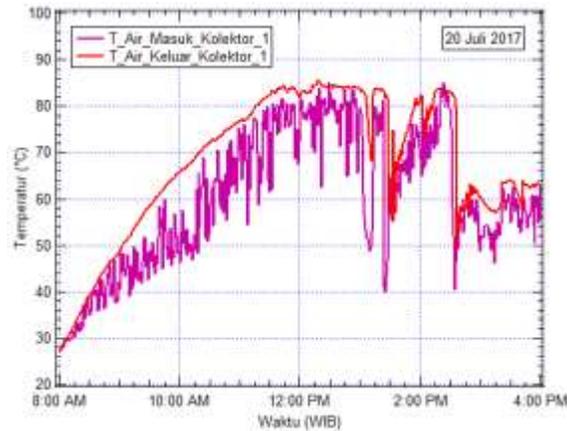
Gambar 4. Grafik suhu pada bagian-bagian kolektor 1



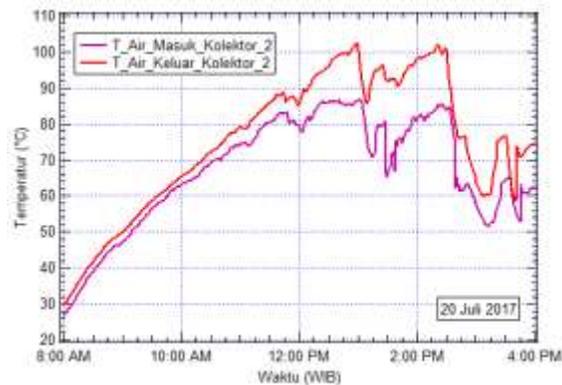
Gambar 5. Grafik suhu pada bagian-bagian kolektor 2

Dari grafik dapat terlihat bahwa pada kolektor 1 suhu maksimum plat adalah 104,66 °C pada pukul 12.58 WIB dengan suhu rata-rata 80,44 °C, suhu maksimum acrylic dalam adalah 90,79 °C pada pukul 12.57 WIB dengan suhu rata-rata 71,1 °C, dan suhu maksimum acrylic luar adalah 77,2 °C pada pukul 12.54 WIB dengan suhu rata-rata 57,25 °C. Sedangkan pada kolektor 2 suhu maksimum berada pada pukul 12.58 WIB dengan suhu maksimum plat adalah 115,76 °C

dengan suhu rata-rata 84,37 °C, suhu maksimum kaca dalam adalah 105,74 °C dengan suhu rata-rata 77,37 °C, dan suhu maksimum kaca luar adalah 99,82 °C dengan suhu rata-rata 74,02 °C. Dapat disimpulkan disini bahwa kemampuan kolektor untuk mengumpulkan dan menyerap panas yang lebih baik adalah kolektor 2 yang menggunakan insulasi panas dari *polyurethane* jika melihat dari suhu bagian-bagian kolektor yaitu plat absorber, kaca penutup dalam dan kaca penutup luar. Untuk suhu air sirkulasi masuk dan keluar kolektor 1 dan 2, dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 6. Grafik suhu air sirkulasi masuk dan keluar kolektor 1



Gambar 7. Grafik suhu air sirkulasi masuk dan keluar kolektor 2

Dari grafik dapat terlihat bahwa pada kolektor 1 suhu maksimum air masuk adalah 85,12 °C pada pukul 14.23 WIB dengan suhu rata-rata 60,12 °C, suhu maksimum air keluar adalah 85,52 °C pada pukul 12.18 WIB dengan suhu rata-rata 67,79 °C. Sedangkan pada kolektor 2 suhu maksimum air masuk adalah 86,71 °C pada pukul 13.02 WIB dengan suhu rata-rata 67,03 °C, suhu maksimum air keluar adalah 102,35 °C pada pukul 12.58 WIB dengan suhu rata-rata 75,20 °C.

4.2 Kehilangan panas kolektor

Untuk menghitung kehilangan panas teoritis dari sisi atas digunakan rumus berikut:

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{c,p-c1} + h_{r,p-c1}} + \frac{1}{h_{c,c1-c2} + h_{r,c1-c2}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c2-a}} \right)^{-1} \quad (1)$$

Dimana koefisien radiasi yang terjadi dari plat ke cover 1 $h_{r,p-c1}$ [W/m².°C] adalah:

$$h_{r,p-c1} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_{c1}^2)(T_p + T_{c1})}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (2)$$

Sedangkan koefisien radiasi yang terjadi dari kaca 1 ke cover 2 $h_{r,c1-c2}$ [W/m².°C] adalah:

$$h_{r,c1-c2} = \frac{\sigma(T_{c1}^2 + T_{c2}^2)(T_{c1} + T_{c2})}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (3)$$

Dan untuk koefisien radiasi yang terjadi dari cover 2 ke udara luar $h_{r,c2-a}$ [W/m².°C] adalah:

$$h_{r,c2-a} = \epsilon_c \sigma (T_{c2} + T_s)(T_{c2}^2 + T_s^2) \quad (4)$$

Pada koefisien perpindahan panas secara konveksi $h_{c,p-c1}$, $h_{c,c1-c2}$, dan h_w [W/m².°C] didapat dengan menghitung bilang Rayleigh terlebih dan untuk data lain dapat dilihat di tabel sifat udara.

Setelah didapat maka dapat dihitung bilangan Nusselt untuk mendapat nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi yang dapat dicari dari persamaan berikut:

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad (5)$$

Setelah bilangan Nusselt lalu dapat bilangan ini dimasukkan kedalam persamaan:

$$h = NU \frac{k}{l} \quad (6)$$

Untuk menghitung suhu pada setiap kaca dirumuskan dengan persamaan berikut:

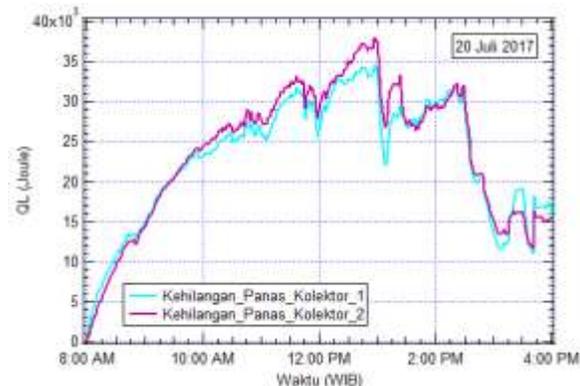
$$T_{c1} = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{c,p-c1} + h_{r,p-c1}} \quad (7)$$

$$T_{c2} = T_{c1} - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{c,c1-c2} + h_{r,c1-c2}} \quad (8)$$

Untuk suhu kolektor yang diketahui, maka untuk menghitung koefisien kehilangan panas kolektor bagian atas dapat digunakan persamaan berikut:

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{c}{T_{pm}} \left[\frac{(T_{pm} - T_a)}{(N+f)} \right]^{\epsilon} + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm}^2 + T_a^2)(T_{pm} - T_a)}{\frac{1}{\epsilon_p + 0.00591N} + \frac{2N+f-1+0.188\epsilon_p}{\epsilon_c} - N} \quad (9)$$

Adapun nilai kehilangan panas pada kolektor 1 dan 2 setiap menitnya dari pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 16.00 WIB ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 8. Grafik kehilangan panas pada kolektor 1 dan 2

Gambar diatas menunjukkan hubungan besarnya kehilangan panas pada kolektor 1 dan 2 terhadap waktu. Dari grafik terlihat bahwa pada kolektor 1 kehilangan panas tertinggi adalah sebesar 34,56 kJ pada jam 12.58 WIB. Sedangkan rata-rata besar kehilangan panas tiap menit pada kolektor 1 pada pengujian tanggal 20 Juli 2017 ini adalah 23,08 kJ. Sedangkan pada kolektor 2 kehilangan panas tertinggi adalah sebesar 38, 06 kJ

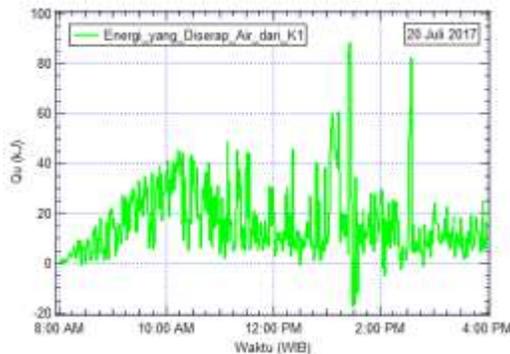
pada jam 12.58 WIB. Sedangkan rata-rata besar kehilangan panas tiap menit pada kolektor 2 pada pengujian tanggal 20 Juli 2017 ini adalah 23,77 kJ. Jumlah total kehilangan panas pada kolektor 1 dan 2 selama 8 jam tersebut adalah 11,12 MJ dan 11,46 MJ.

4.3 Energi yang Diserap Air Sirkulasi

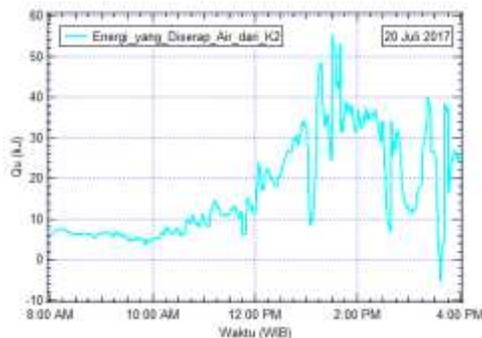
Energi yang sampai ke kolektor akan digunakan untuk memanaskan air yang bersirkulasi pada pipa kolektor yang nantinya akan memanaskan evaporator sebagai alat penukar kalor. Energi yang diserap air sirkulasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_u = mw.Cpw.(Tw_2 - Tw_1) \tag{10}$$

Energi yang diserap oleh air sirkulasi pada kolektor 1 dan 2 akan dihitung dengan mengukur perbedaan temperatur air sebelum dan sesudah masuk kolektor pada setiap menit dan kemudian dihitung selama 8 jam. Besar energi yang diserap bisa dilihat pada grafik berikut.



Gambar 9. Grafik energi yang diserap air sirkulasi dari kolektor 1



Gambar 10. Grafik energi yang diserap air sirkulasi dari kolektor 2

Gambar diatas menunjukkan hubungan besarnya energi yang diserap air sirkulasi dari kolektor 1 dan 2 terhadap waktu. Dari grafik terlihat bahwa pada kolektor 1 energi yang diserap tertinggi adalah sebesar 88,79 kJ pada pukul 13.26 WIB dan rata-rata besar kehilangan panas tiap menit adalah 16,22 kJ. Sedangkan pada kolektor 2 energi yang diserap tertinggi adalah sebesar 55,29 kJ pada pukul 13.31 WIB dan rata-rata besar kehilangan panas tiap menit adalah 17,25 kJ. Jumlah total energi yang diserap air sirkulasi dari kolektor 1 dan 2 selama 8 jam tersebut adalah 7,7884 MJ dan 8,28002 MJ.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa suhu pada bagian-bagian kolektor 2 lebih tinggi daripada suhu pada bagian-bagian kolektor 1, begitu juga dengan energi yang diserap air sirkulasi. Kolektor 2 dapat menyerap energi lebih baik daripada kolektor 1. Hal ini sesuai dengan teori dimana luas permukaan bidang pemanas yaitu pipa pemanas yang dilalui air lebih banyak pada kolektor 2. Sedangkan untuk kehilangan panas, kolektor 1 lebih sedikit daripada kolektor 2. Seharusnya dengan koefisien perpindahan panas pada insulasi kolektor 2 lebih kecil daripada kolektor 1, kolektor 2 memiliki kehilangan panas yang lebih sedikit. Kehilangan panas yang tinggi di kolektor 2 ini disebabkan oleh tingginya perbedaan suhu plat dengan suhu lingkungan yang menyebabkan besarnya perpindahan panas yang terjadi. Oleh sebab itu untuk penelitian kedepannya disarankan membuat kolektor dengan insulasi panas yang lebih baik lagi sehingga kehilangan panas yang terjadi pada kolektor dapat lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Kharabsheh, S. and D.Y. Goswami. 2003. "Analysis of an Innovative Water Desalination System Using Low-grade Solar Heat". *Journal of Desalination*, Vol. 156 pp. 323–332.

Al-Kharabsheh, S. and D.Y. Goswami. 2004. "Theoretical Analysis of a Water Desalination System Using Low Grade Solar Heat". *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 126 pp. 774-780.

Astawa, Ketut. et. al. 2011. *Jurnal Ilmiah Analisis Performansi Destilasi Air Laut Tenaga Surya Menggunakan Penyerapan Radiasi Surya Tipe Bergelombang Berbahan Dasar Beton*. Bali : Universitas Udayana.

- Duffie, A John. 2006. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Third Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Eltawil, M.A., Z. Zhengming, L. Yuan. 2009. "A Review of Renewable Technologies Integrated with Desalination Systems". *Journal of Renewable Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, pp. 2245–2262.
- Garzia-Rodriguez L, *et al.* 2002. "Comparison of Solar Technologies for Applications in Seawater Desalination". *Journal of Desalination*, Vol. 142 pp. 135-142.
- Garzia-Rodriguez L. 2002. "Seawater Desalination Driven by Renewable Energies: a Review". *Journal of Desalination*, Vol. 143 pp. 103-113.
- Sharon, H., K.S. Reddy. 2015, "A Review of Solar Energy Driven Desalination Technologies". *Journal of Renewable Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, pp. 1080-1118.