

**ANALISIS EKSERGI ALAT DESALINASI AIR LAUT TENAGA SURYA
SISTEM PASIF DENGAN KEMIRINGAN GANDA**

Jandri Fan HT. Saragi, S.Pd.,MT

*Universitas HKBP Nommensen PematangSiantar
Dosen Teknik Mesin Fakultas FTPSDP Universitas HKBP Nommensen
PematangSiantar
Email : jandrifan@gmail.com*

Abstrak

Penyuling air tenaga surya adalah proses yang dapat digunakan untuk mengubah air yang tersedia menjadi air bersih. Untuk mengetahui apakah energi yang digunakan pada proses evaporasi sudah digunakan secara optimal dari sisi kualitas, digunakan hukum termodinamika kedua atau yang dikenal dengan analisis eksergi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya eksergi dan efisiensi eksergi dari alat desalinasi air laut tenaga surya sistem pasif dengan kemiringan ganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas matahari, temperatur air, dan temperatur lingkungan mempengaruhi besarnya eksergi dan efisiensi eksergi. Semakin tinggi intensitas matahari dan temperatur air maka eksergi dan efisiensi eksergi semakin tinggi, dan semakin tinggi temperatur lingkungan maka eksergi evaporasi dalam system semakin rendah. Besarnya eksergi harian bervariasi dari 0,021 kWh untuk suhu air dan intensitas matahari rata-rata 32,26°C dan 97.9 W/m² hingga 0,525 kWh untuk suhu air dan intensitas matahari rata-rata 45,42 °C dan 420,855 W/m² serta efisiensi eksergi bervariasi dari 0,928% hingga 5,363%.

Kata Kunci: *Eksergi, desalinasi*

1. Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan di bumi terutama bagi umat manusia, dimana air adalah salah satu kebutuhan utama. Manusia membutuhkan air tidak hanya untuk kebutuhan minum tetapi juga untuk berbagai kebutuhan lain, seperti mencuci, memasak, mandi, dan lainnya. Sumber air tersebut ada yang diperoleh dari mata air, sungai, danau dan laut. Air yang berada di darat maupun di laut akan menguap oleh panas matahari.

Manusia sering dihadapkan pada situasi yang sulit dimana sumber air tawar sangat terbatas dan di lain pihak terjadi peningkatan kebutuhan. Bagi masyarakat yang tinggal di daerah pantai atau di pulau kecil, air tawar merupakan sumber air yang sangat penting. Ketika musim kemarau mulai datang maka masyarakat yang tinggal di daerah pantai atau pulau kecil mulai kekurangan air [1]. Kondisi ini dapat dicegah jika umat manusia dapat menemukan cara lain untuk memproduksi air bersih. Menurut penelitian yang dilakukan oleh WHO, bahwa di negara negara maju, setiap orang memerlukan air antara 60 sampai dengan 120 liter/harinya. Permintaan air tawar ini sehari-hari telah

meningkat dari 75 menjadi 100 L per hari di abad ke-20 [2].

Desalinisasi secara umum berarti menghilangkan garam dari air laut atau air asin. Untuk menghasilkan air bersih dari proses desalinasi sudah banyak peneliti yang melakukannya. Produksi air yang dihasilkan dari proses desalinasi sebelumnya masih sangat rendah. Energi yang digunakan juga termasuk mahal karena banyak menggunakan energi konvensional seperti menggunakan bahan bakar minyak untuk melaksanakan proses produksi air bersih.

Di daerah terpencil dimana energi konvensional tidak tersedia atau mahal. Proses desalinasi termal konvensional menyebabkan emisi gas berbahaya dan beracun ke lingkungan. Salah satu sumber daya energy terbarukan yaitu energy matahari. Sinar matahari memiliki keuntungan dari biaya bahan bakar nol namun membutuhkan lebih banyak ruang untuk koleksinya [3,4].

Energi yang paling banyak digunakan adalah energi matahari yang sampai 57% [5]. Diperkirakan di masa depan, destilasi didukung oleh energi matahari (dinamakan sebagai destilasi matahari), akan lebih populer. Bahkan negara-negara dengan produsen minyak besar seperti

Arab Saudi meningkatkan penggunaan energi matahari untuk menyalakan sistem destilasi mereka guna mengembangkan sistem destilasi yang berkelanjutan [1]. Untuk mengetahui apakah energi yang digunakan pada proses evaporasi sudah digunakan secara optimal dari sisi kualitas, digunakan hukum termodinamika kedua atau yang dikenal dengan analisis eksergi. Kotas [6] mendefinisikan eksergi sebagai bagian dari energy yang dapat dikonversi menjadi bentuk-bentuk energy yang lain. Dari defenisi tersebut dapat diartikan bahwa ada energy yang dapat diubah dan ada yang tidak dapat diubah menjadi bentuk lain. Analisis eksergi dan efisiensi eksergi pada alat desalinasi tenaga surya telah diselidiki oleh banyak orang, diantaranya A.K. Sethi dan V.K. Dwivedi [7] dalam penelitiannya menunjukkan bahwa efisiensi eksergi yang terjadi bervariasi antara 0.26 sampai 1.34%. N. Rahbar, dkk [8] melaporkan bahwa besarnya efisiensi eksergi maksimum pada penelitian yang telah dilakukan di Iran adalah sebesar 25%. Dwivedi dan Tiwari [9] melaporkan

bahwa penyuling tenaga surya kemiringan ganda memberikan distilasi yang lebih tinggi di musim panas dengan distilasi tahunan yang rendah, efisiensi exergi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kemiringan tunggal tenaga surya [10].

2. Metode Penelitian

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur pada titik-titik system, dimana alat ini bekerja secara otomatis dan mencatat hasil pengukuran perjamnya dalam bentuk file MS. Excel. Dalam penelitian ini, termokopel yang digunakan berjumlah 6 buah. Untuk mengukur temperatur udara, kecepatan angin, intensitas radiasi dan kelembaban udara digunakan HOBO Micro Station Data Logger. Alat ini dihubungkan ke data logger yang terhubung ke computer untuk direkam datanya. Parameter desain yang digunakan dalam perhitungan untuk Penyuling Air Laut Tenaga Surya Sistem Pasif dengan Kemiringan Ganda adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Parameter Desain

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
α_g	0,05	A_b	1,932 m x 1 m
α_b	0,8	K_g	0,78 (W/m°C)
α_w	0,6	L_g	0,003 m
ϵ_w	0,95	K_i	0,039 (W/m°C)
ϵ_g	0,95	L_i	0,02 m
σ	$5,67 \times 10^{-8}$ (W/m ² K ⁴)	θ	15°
A_{gE}	1 m x 1 m	x	0,2595
A_{gW}	1 m x 1 m	M_w	38,640 Kg

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sustainable and Renewable Energy Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara. Penelitian dilakukan dari pukul 08.00 sampai 18.00 waktu setempat. Proses pengujian dapat dilakukan dengan mengisi tangki air menggunakan air laut

sebanyak 19 liter. Air laut yang telah terisi di tangki air, dialirkan ke evaporator dengan jalan membuka kran air hingga ketinggian air di evaporator mencapai 2 cm. Ketinggian ini dapat dilihat dari kaca kontrol yang terdapat di evaporator. Data yang diperoleh dari penelitian dihitung menggunakan MS. Excel 2010.



Gambar 1. Alat Desalinasi Kemiringan Ganda

Alat desalinasi system pasif tenaga surya dengan kemiringan ganda yang dirakit terdiri dari evaporator, penutup yang berbahan kaca, tangki air laut, pipa saluran dari tangki ke evaporator dan pipa untuk hasil kondensasi. Air laut yang mengalami kondensasi di evaporator akan menguap dan air kondensat akan menempel di kaca. Sudut kemiringan kaca yang

digunakan dalam penelitian ini adalah 15° sehingga uap air yang menempel pada kaca akan turun ke penampungan yang terdapat pada kaca hingga akhirnya keluar melalui selang air ke penampungan air bersih.

Perpindahan panas di penyuling matahari, terutama diklasifikasikan ke dalam perpindahan panas internal dan

eksternal.

a. Perpindahan panas internal

Perpindahan panas internal terjadi di dalam penyuling matahari dari permukaan air ke permukaan bagian dalam penutup kaca, yang terutama terdiri dari evaporasi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas konvektif dan menguap berlangsung secara bersamaan dan independen dari perpindahan panas radiasi.

1) Perpindahan panas radiasi

Koefisien perpindahan panas radiasi antara air ke gelas diberikan sebagai berikut [11], [12]:

sebagai berikut [11], [12]:

$$h_{cwg} = 0.884 \left[\left(T_w - T_{gi} \right) + \frac{(P_w - P_{gi})(T_w + 273)}{2.689 \times 10^5 - P_w} \right]^{1/3} \quad (3)$$

Dimana,

$$P_w = \exp \left[25.317 - \frac{5144}{273 + T_w} \right] \quad (4)$$

$$P_{gi} = \exp \left[25.317 - \frac{5144}{273 + T_{gi}} \right] \quad (5)$$

3) Perpindahan panas evaporasi

Kinerja penyuling matahari tergantung pada koefisien transfer panas evaporative dan konvektif. Berbagai ilmuwan mengembangkan hubungan matematika untuk mengevaluasi koefisien transfer panas evaporatif dan konvektif. Penguapan berlangsung di dalam

$$h_{nvg} = \epsilon_{eff} \sigma \left[(T_w + 273)^2 + (T_{gi} + 273)^2 \right] (T_w + T_{gi} + 546) \quad (1)$$

Dimana Daya pancar efektif antara air ke kaca penutup disajikan sebagai berikut:

$$\frac{1}{\epsilon_{eff}} = \frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1 \quad (2)$$

dan adalah bilangan koefisien Stephan-Boltzman yaitu $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

2) Perpindahan panas konveksi

Konveksi alami terjadi di udara lembab di dalam bak karena perbedaan temperatur antara permukaan air ke permukaan bagian dalam penutup kaca. Koefisien perpindahan panas konvektif diberikan penyuling matahari dengan penambahan panas di air melalui radiasi matahari. Koefisien perpindahan panas evaporatif sebagai berikut [11], [12]:

$$h_{ewg} = 0.016273 h_{cwg} \left(\frac{P_w - P_{gi}}{T_w - T_{gi}} \right)$$

b. Perpindahan panas eksternal

Perpindahan panas eksternal di penyuling matahari terutama diatur oleh proses konveksi dan radiasi, yang independen satu sama lain. Panas hilang dari permukaan luar gelas ke atmosfer melalui konveksi dan radiasi. Temperatur kaca (T_{go}) dan atmosfer (T_a) secara langsung berkaitan dengan kinerja penyuling matahari. Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca ke atmosfer diberikan

sebagai berikut [11], [12]:

$$h_{rga} = \frac{\varepsilon_g \sigma \left[(T_{gi} + 273)^4 - (T_{sky} + 273)^4 \right]}{T_{go} - T_a} \quad (7)$$

dimana,

$$T_{sky} = T_a - 6 \quad (8)$$

c. Analisis Eksergi

Eksergi dapat dievaluasi menggunakan

$$E_{input} = E_{sum} = \left[(AI)_{gESE} + (AI)_{gWSW} \right] \left[1 - 4 \left(\frac{T_w}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_w}{T_s} \right)^4 \right] \quad (10)$$

Dimana T_s adalah temperatur matahari, 6000 K, sedangkan untuk keluaran eksergi

$$E_{output} = E_{evap} = h_{ewg} \frac{A}{2} \left[(T_w - T_{gt}) - (T_a + 273) \ln \left(\frac{T_w + 273}{T_a + 273} \right) \right] \quad (11)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2. menunjukkan variasi intensitas matahari rata-rata. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data intensitas matahari terendah yaitu pada hari kedua dengan rata-rata intensitas sebesar 97,9 W/m² dan tertinggi pada hari kelima dengan rata-rata intensitas sebesar 420,855 W/m². Gambar 3. menunjukkan variasi temperatur lingkungan rata-rata pada system. Dari hasil pengujian, temperatur lingkungan terendah yaitu pada hari kedua dengan rata-rata temperatur sebesar 27,708 °C dan tertinggi pada hari kelima dengan rata-rata temperatur 32,995 °C. Temperatur rata-

konsep entropi yang berasal dari hukum kedua termodinamika. Efisiensi eksergi dari sistem desalinasi dapat didefinisikan sebagai rasio keluaran eksergi yang terkait dengan produk (yaitu air tawar) terhadap input eksergi (eksergi radiasi), dan dinyatakan sebagai berikut [11], [8], [15]:

$$\eta_{Ex} = \frac{E_{x\ output}}{E_{x\ input}} \quad (9)$$

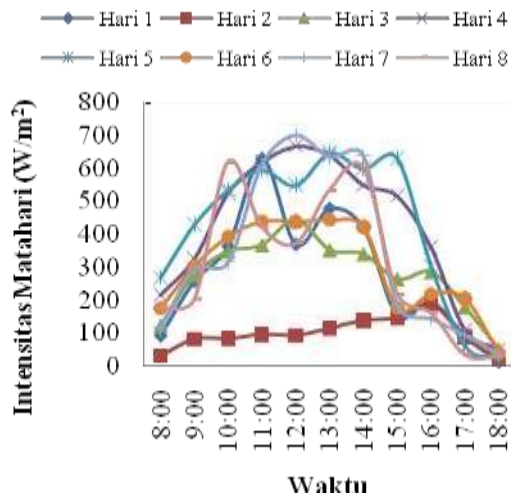
dapat ditulis sebagai berikut [11], [13], [14], [15]:

rata tertinggi antara air dan kaca terdapat pada hari kelima pengujian. Temperatur air maupun kaca pada pengujian hari kelima berada pada pukul 13.00 siang, sedangkan temperatur terendah berada pada pukul 08.00 pagi. Besarnya nilai eksergi ditentukan oleh intensitas matahari, koefisien evaporasi, temperatur air, temperatur lingkungan dan luas basin. Semakin tinggi koefisien evaporasi dan temperatur air serta semakin luas basin maka nilai eksergi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Besarnya nilai eksergi juga tergantung pada temperatur lingkungan, semakin rendah temperatur lingkungan maka

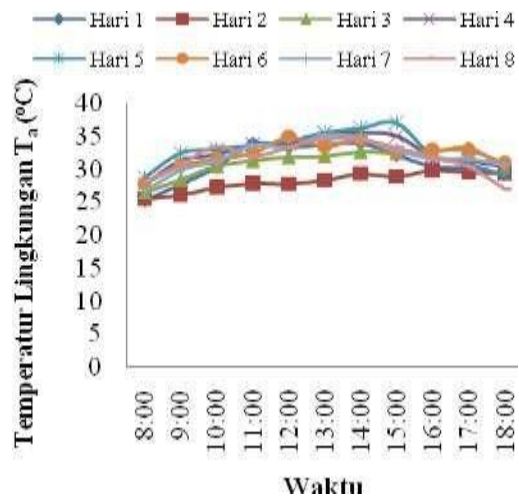
eksergi yang dihasilkan juga semakin besar.

Eksergi evaporasi terendah pada hari kedua yaitu pukul 08.00 pagi dan tertinggi pada pukul 16.00. Eksergi yang dihasilkan

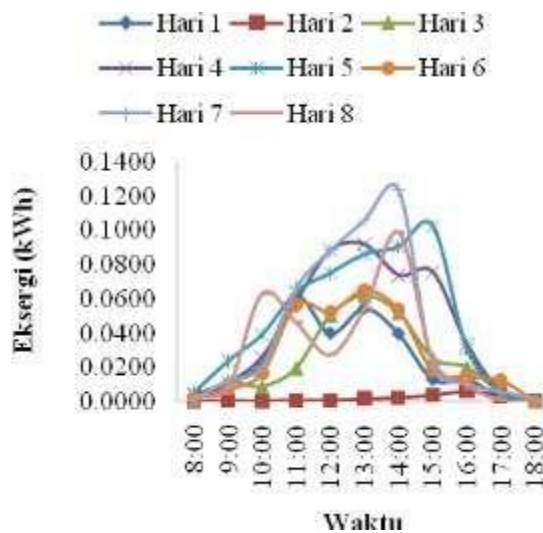
pada hari kedua yaitu sebesar 0,0209 kWh. Eksergi pada hari kedua ini merupakan eksergi terendah yang dihasilkan sistem.



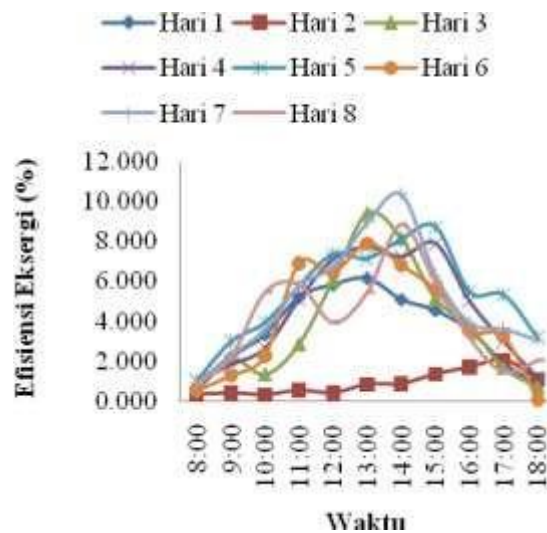
Gambar 2. Grafik Intensitas Matahari



Gambar 3. Grafik Temperatur Lingkungan



Gambar 4. Grafik Eksergi Evaporator



Gambar 5. Grafik Efisiensi Eksergi

Pada hari kedua, keadaan sistem desalinasi pada basin hampir sama dengan keadaan di lingkungan atau mendekati

keadaan *dead state* dimana nilai eksergi mendekati nol. Keadaan ini karena pada hari kedua intensitas matahari berapa pada

posisi terendah dibandingkan dengan pengujian hari-hari lainnya, sehingga temperatur air, temperatur dalam kaca, dan temperatur lingkungan menjadi rendah. Eksergi evaporasi terendah pada hari kelima yaitu pukul 18.00 sore dan tertinggi pada pukul 15.00 sore. Variasi nilai eksergi evaporasi dapat diamati dari Gambar 9. Eksergi yang dihasilkan sistem pada hari kelima merupakan eksergi evaporator terbesar yaitu sebesar 0,5248 kWh.

Setelah diamati Gambar 10. diperoleh data efisiensi eksergi terendah pada hari kedua yaitu pukul 10.00 pagi dan tertinggi pada pukul 17.00 sore. Pada hari kedua, efisiensi eksergi merupakan efisiensi terendah dibandingkan dengan hari lainnya, yaitu sebesar 0,928% atau energi yang dapat diubah menjadi usaha atau kerja adalah sebesar 0,0002 kWh. Efisiensi eksergi terendah pada hari kelima yaitu pukul 08.00 pagi dan tertinggi pada pukul 15.00 sore. Pada hari kelima, efisiensi eksergi merupakan efisiensi tertinggi dibandingkan dengan hari lainnya, yaitu sebesar 5,363%. Besar efisiensi eksergi ini menunjukkan bahwa eksergi yang dapat diubah menjadi kerja/usaha adalah 0,03 kWh.

Efisiensi eksergi dipengaruhi oleh

luas kaca, intensitas matahari, koefisien evaporasi, temperatur air, temperatur lingkungan dan luas basin. Semakin luas permukaan kaca maka efisiensi eksergi semakin kecil, semakin tinggi intensitas matahari maka nilai efisiensi eksergi semakin tinggi, semakin besar luas basin

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan seperti yang diuraikan, terkait dengan besarnya eksergi dan efisiensi eksergi desalinasi air laut sistem pasif dengan kemiringan ganda, dapat disimpulkan bahwa eksergi yang dihasilkan pada proses desalinasi air laut sistem pasif dengan kemiringan ganda setiap harinya berbeda. Besarnya eksergi harian bervariasi dari 0,021 kWh hingga 0,525 kWh dan efisiensi eksergi bervariasi dari 0,928% hingga 5,363%. Perbedaan ini disebabkan oleh intensitas matahari dan temperatur air. Semakin tinggi intensitas matahari dan temperatur air maka semakin tinggi eksergi evaporasi dalam system, tetapi semakin tinggi temperatur lingkungan maka eksergi evaporasi dalam system semakin rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ambarita Himsar 2016 Study on the performance of natural vacuum

- desalination system using low grade heat source. *Case Studies in Thermal Engineering* **8** 346–358
- [2] Durkaieswaran, P and Murugavel, K. Kalidasa 2015 Various special designs of single basin passive solar still–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **49** 1048–1060
- [3] Lovedeep Sahota and G.N. Tiwari 2017 Exergoeconomic and enviroeconomic analyses of hybrid double slope solar still loaded with nanofluids. *Energy Conversion and Management* **148** 413–430
- [4] Jesayas Sembiring, Himsar Ambarita, Farel H Napitupulu 2018 Kajian Unjuk Kerja Pemanas Air Tenaga Matahari Sistim Pipa Panas Menggunakan R-134a. *Energy and Engineering (EE). Talenta Conference Series* 013-019
- [5] Eltawil, M.A, Zhengming Z and Yuan, L. 2009 A review of renewable technologies integrated with desalination systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13** 2245–2262
- [6] Kotas, T.J 1985 *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis* (University of London/Elsevier) p 320
- [7] A.K. Sethi and V.K. Dwivedi 2013 Exergy analysis of double slope active solar still under forced circulation mode. *Desalination and Water Treatment* **51**:40-42, 7394- 7400
- [8] N. Rahbar, A. Gharaiian and S. Rashidi 2017 Exergy and economic analysis for a double slope solar still equipped by thermoelectric heating modules an experimental investigation. *Desalination* **420** 106–113
- [9] Dwivedi ,V.K. and G.N. Tiwari 2010
- [10] Experimental validation of thermal model of a double slope active solar still under natural circulation mode. *Desalination* **250** 49–55
- [11] Rahul Dev, H.N. Singh and G.N. Tiwari 2011 Characteristic equation of double slope passive solar still. *Desalination* **267** 261– 266
- [12] Tiwari, G.N and Sahota Lovedeep 2017 Review on the energy and economic efficiencies of passive and active solar distillation systems. *Desalination* **401** 151– 179
- [13] Lovedeep Sahota and G.N. Tiwari 2016 Effect of Al₂O₃ nanoparticles on the performance of passive double slope solar still. *Solar Energy* **130** 260–272
- [14] Lovedeep Sahota, Shyam and G.N. Tiwari 2017 Energy matrices, enviroeconomic and exergoeconomic analysis of passive double slope solar still with water based nanofluids. *Desalination* **409** 66–79
- [14] L. Sahota and G.N. Tiwari. 2016 Effect of nanofluids on the performance of passive double slope solar still: A comparative study using characteristic curve. *Desalination* **388** 9–21
- [15] D.B. Singh, G.N. Tiwari, I.M. Al- Helal, V.K. Dwivedi and J.K. Yadav 2016 Effect of energy matrices on life cycle cost analysis of passive solar stills. *Solar Energy* **134** 9–22