

ANALISA PERFORMASI PADA MENARA PENDINGIN DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS EKSERGI

Ozkar F. Homzah¹⁾

Abstrak : Studi ini menyajikan metode analisis eksergi, dengan melakukan pengambilan serta perhitungan data untuk menara pendingin di pabrik urea Pusri I-B. Studi ini bertujuan menganalisis kinerja menara pendingin dengan mengkaji besarnya irreversibilitas dan efisiensi eksergi. Dari hasil penelitian di dapat irrevesibilitas dari proses pendinginan di menara pendingin selama 24 jam bervariasi antara 614,09 kW hingga 731,202 kW. Dimana pada pukul 21:00 irreversibilitas terendah dan pukul 15.00 irrevesibilitas tertinggi yaitu sebesar 614,09 kW dan 731,202 kW. Nilai efisiensi eksergi diketahui antara 41,12% sampai 59,04%.

Kata kunci: menara pendingin, irreversibilitas, efisiensi eksergi.

Abstract : This study presents a method of exergy analysis, by performing the data collection and calculation of the cooling tower at the I-B urea plant of PT Pusri. This study aims to analyze the performance of the cooling tower by assessing the irreversibility and exergy efficiency. Through the assessment is obtained the irreversibility of the cooling process during 24 hours is varies around 614.09 to 731.202 kW. When the lowest irreversibility at 21:00 o'clock, the highest irreversibility at 15:00 o'clock. And the exergy efficiency is about 41.12% to 59.04%.

Keywords: cooling tower, irreversibility, exergy efficiency

I. PENDAHULUAN

Energi telah disadari sebagai kebutuhan pokok, konsumsi energi selalu meningkat setiap tahunnya sementara cadangan terbatas, oleh sebab itu perlu dilakukan upaya untuk melakukan pemanfaatan energi. Upaya yang telah dilakukan diantaranya konservasi energi atau lebih dikenal dengan penghematan energi yang bertujuan untuk mengurangi biaya produksi serta mengurangi dampak negatif dalam penggunaan energi terhadap lingkungan.

Studi mengenai analisis eksergi telah dikenalkan oleh Carnot pada tahun 1824 dan

Clausius pada tahun 1865, dimana dalam proses termodinamika tidak selalu ideal. metode analisis eksergi mulai diaplikasikan pada tahun 1980-an. Analisis eksergi pada menara pendingin sekaligus mengoptimasi sistem operasi secara termoekonomi telah dilakukan oleh (M.M Castro dan T.W.Song, 2000). (Clety B.K, 2005) menyajikan metode analisis eksergi serta menganalisis sistem sirkulasi air di menara pendingin pada sistem pembangkit tenaga Olkaria I, Kenya.

Dari beberapa studi menjelaskan bahwa metode analisis energi diaplikasikan untuk menghitung kerugian energi (*energy loses*)

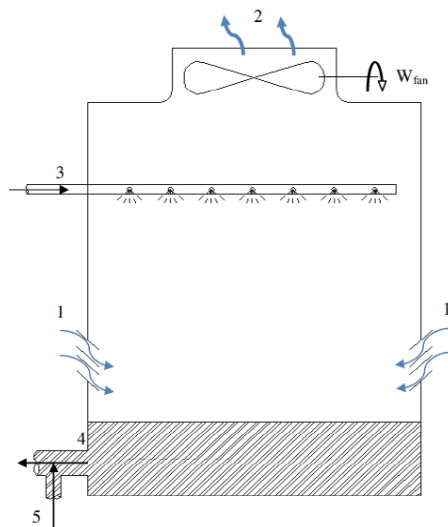
1) Dosen Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Sekayu

^{*)} Email: ozkar_firdaus_unsri@yahoo.com

yang terjadi dalam sebuah sistem, tetapi analisa energi tidak mampu dan tepat dalam menentukan lokasi dan besar kehilangan energi yang terjadi didalam sistem. Oleh sebab itu, saat ini metode analisis eksergi lebih baik dan teliti dalam menentukan lokasi kerugian energi serta memberikan langkah-langkah yang tepat dalam upaya penghematan sumber energi secara efisien.

II. LANDASAN TEORI

Menara pendingin sebagai alat penukar kalor dengan sistem terbuka fluida panas (air) melepaskan panasnya ke fluida dingin (udara) berinteraksi secara langsung dengan bantuan *induce draft fan* yang berfungsi menghisap udara luar secara paksa masuk kedalam menara pendingin. Selama proses pendinginan di dalam menara pendingin sejumlah air pendingin mengalami penguapan, sehingga laju aliran massa air pendingin berkurang. Air yang hilang akibat penguapan akan digantikan oleh air penambah (*makeup water*).



Gambar1. Proses Aliran udara dan air pada menara pendingin.

Proses perpindahan kalor di menara pendingin diilustrasikan pada gambar 1. Proses 1; udara masuk ke menara pendingin. Pada Proses 2; udara keluar dari menara pendingin, lalu air panas yang masuk ke menara pendingin di proses 3 dan proses 4; air dingin yang dihasilkan menara pendingin serta proses 5 ialah proses air penambah (*makeup water*).

Neraca eksergi dalam sistem menara pendingin (gambar 1) adalah jumlah eksergi masuk dan daya fan harus sama dengan eksergi keluar dan kerugian eksergi (*irreversibilitas*) yang terjadi selama proses, atau dapat ditulis dalam persamaan 1.

$$\Sigma E_1 + \Sigma E_5 + \Sigma E_3 + \Sigma W_{fan} = \Sigma E_2 + \Sigma E_4 + I \quad (1)$$

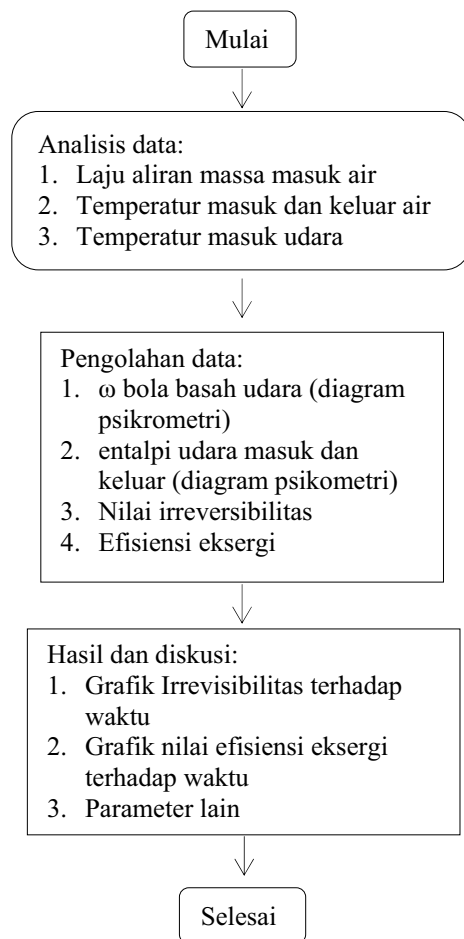
Efisiensi eksergi atau disebut sebagai efektivitas perpindahan kalor dari menara pendingin merupakan perbandingan rasio antara besar eksergi yang tersedia pada air (*hot fluid*) dengan besar eksergi yang diserap oleh udara (*cold fluid*), dapat ditulis dalam persamaan 2.

$$\eta_{cs} = \frac{\Sigma E_2 - \Sigma E_1}{\Sigma E_3 - \Sigma E_4} \quad (2)$$

Dimana dari persamaan (1) dan (2) yaitu ΣE_1 adalah eksergi udara masuk ke menara pendingin, ΣE_5 adalah eksergi dari air penambah, ΣE_3 adalah eksergi air masuk ke menara pendingin, ΣE_2 adalah eksergi udara keluar dari menara pendingin, ΣE_4 adalah eksergi air keluar ke menara pendingin, I adalah kerugian eksergi (*irreversibilitas*) selama proses, η_{cs} adalah nilai efisiensi eksergi dan ΣW_{fan} adalah kerja fan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Studi ini menggunakan metode analisis eksergi pada menara pendingin di pabrik urea Pusri I-B dengan kondisi operasi selama 24 jam. Selain itu, studi ini dilakukan untuk mempelajari parameter yang mempengaruhi perubahan temperatur pendinginan yang dihasilkan selama proses pengoperasian berlangsung. Hipotesa yang dipakai adalah kondisi sistem menara pendingin adalah *steady state*, udara dan uap air bersifat gas ideal, Energi kinetik dan potensial (E_k dan E_p) adalah nol serta temperatur air penambah adalah konstan.



Gambar2. Diagram alir penelitian

Langkah pengerjaan penelitian ini dapat dijabarkan pada gambar 2. Dimana terdiri dari 3 proses yaitu analisis data yang dianalisa selama 24 jam pengoperasian menara pendingin, pengolahan data yaitu melakukan proses perhitungan matematis serta hasil yang diilustrasikan dalam bentuk grafik hasil terhadap waktu operasi menara pendingin.

Pada tahap pertama adalah analisis data, dicatat dan dianalisis parameter operasi pada menara pendingin yang mencakup laju aliran massa masuk pada air, temperatur masuk dan keluar air, temperatur masuk dan keluar udara. Tahap kedua yaitu pengolahan data dilakukan perhitungan massa dan energi pada menara pendingin, lalu memploting temperatur bola kering udara, serta rasio massa campuran udara masuk (\dot{u}_1) dan keluar (\dot{u}_2) dengan menggunakan diagram psikrometri. Setelah itu melakukan perhitungan untuk nilai Irrevesibilitas atau kerugian eksergi dan nilai efisiensi eksergi. Dan tahap ketiga adalah mengilustrasikan hasil perhitungan kedalam grafik, yaitu nilai Irrevesibilitas dan efisiensi eksergi terhadap waktu pengoperasian selama 24 jam. Tabel 1 menunjukkan pengambilan data dan analisa data dari menara pendingin di pabrik urea Pusri I-B. Tabel 2 memberikan nilai massa campuran bola basah udara masuk dan keluar serta nilai entalpi yang didapat dari diagram psikrometri.

Tabel 2. Massa campuran bola basah dan entalpi masuk dan keluar udara menggunakan diagram psikrometri.

Waktu	m_2 (kg/s)	T_4 ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	T_1 ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)
01:00	506,18	27,94	38,64	22,6	33,35
02:00	506,38	27,80	38,50	22,8	33,23
03:00	503,68	27,78	38,48	23,2	33,35
04:00	504,16	27,69	38,39	24,0	33,47
05:00	502,3	27,67	38,37	24,3	33,47
06:00	502,01	27,76	38,46	24,5	33,6
07:00	503,54	27,80	38,50	24,8	33,72
08:00	505,06	27,64	38,84	26,5	34,38
09:00	505,62	27,98	39,18	27,7	34,62
10:00	502,3	28,31	39,51	29,6	34,88
11:00	506,18	28,17	39,37	30,6	34,87
12:00	508,19	28,29	39,49	31,0	35,02
13:00	507,63	28,37	39,57	31,5	35,16
14:00	502,5	28,55	39,75	31,2	35,02
15:00	506,52	28,41	39,61	30,8	34,92
16:00	504,86	28,25	39,45	30,0	34,86
17:00	508,12	28,26	39,46	29,6	34,85
18:00	509,09	28,01	38,21	25,2	33,62
19:00	510,97	27,93	38,13	24,8	33,48
20:00	505,42	27,63	37,83	24,4	33,15
21:00	505,4	27,76	37,96	24,0	33,18
22:00	503,61	27,90	38,10	23,7	33,22
23:00	506,52	27,94	38,05	23,3	33,05
24:00	507,84	27,80	37,56	23,0	32,63

IV. HASIL DAN DISKUSI

Udara dibutuhkan untuk mendinginkan air di menara pendingin, dimana pada pembahasan ini jumlah udara yang dihisap oleh *induced draft fan* tidak mengalami perubahan yang berarti (konstan), di karenakan daya yang diberikan ke fan tetap selama pengambilan data selama 24 jam. Banyaknya air penambah yang dibutuhkan untuk menggantikan air yang hilang akibat penguapan dipengaruhi oleh perubahan temperatur lingkungan, kelembaban udara,

Tabel1. Data operasi menara pendingin selama 24 jam di PT Pusri I-B

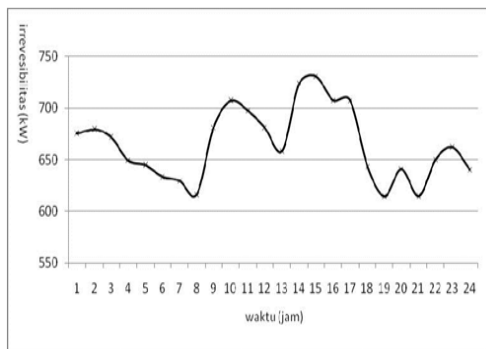
Waktu	ω_1 (kgH ₂ O/kg udara kering)	ω_2 (kgH ₂ O/kg udara kering)	h_1 (kJ/kg, udara kering)	h_2 (kJ/kg, udara kering)
01:00	0,01737	0,03319	87,35	138,6
02:00	0,01720	0,03296	87,05	137,9
03:00	0,01778	0,03319	88,58	138,6
04:00	0,01829	0,03343	90,72	139,3
05:00	0,01824	0,03343	90,89	139,3
06:00	0,01847	0,03368	91,68	140,1
07:00	0,01881	0,03392	92,87	140,9
08:00	0,02019	0,03527	98,16	145,0
09:00	0,01977	0,03577	98,33	146,6
10:00	0,01916	0,03632	98,76	148,2
11:00	0,01918	0,03629	99,85	148,2
12:00	0,01935	0,03661	100,7	149,2
13:00	0,01962	0,03692	101,9	150,1
14:00	0,01839	0,03661	98,44	149,2
15:00	0,01854	0,0364	98,41	148,5
16:00	0,01907	0,03627	98,93	148,1
17:00	0,01916	0,03625	98,76	148,0
18:00	0,01907	0,03372	93,94	140,3
19:00	0,01881	0,03345	92,87	139,4
20:00	0,01835	0,03280	91,29	137,4
21:00	0,01829	0,03286	90,72	137,6
22:00	0,01815	0,03294	90,04	137,8
23:00	0,01770	0,03261	88,49	136,8
24:00	0,01737	0,03181	87,35	134,3

massa air yang akan didinginkan, dan temperatur air yang keluar dari menara pendingin (T_4). Dimana semakin tinggi temperatur bola basah udara sekitar, dan kelembaban udara rendah, maka jumlah air yang hilang akibat penguapan semakin besar.

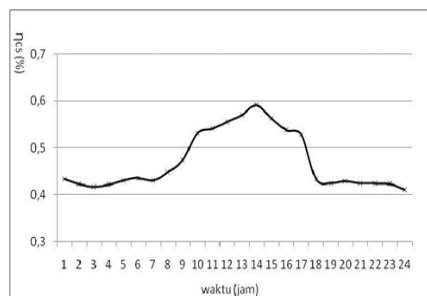
Dari gambar 3, dapat diilustrasikan bahwa nilai irreversibilitas yang dihasilkan selama proses pendinginan selama 24 jam bervariasi antara 614,09kW-731,202kW, hal ini disebabkan karena adanya perubahan pada temperatur lingkungan untuk setiap kondisi yang berbeda. Pada jam 21:00 irrevesibilitas

sebesar 64,09kW, dan jam 15:00 irrevesibilitas sebesar 731,202kW. Kondisi ini juga mempengaruhi efisiensi eksergi (efektivitas perpindahan kalor) dari menara pendingin. Studi ini menunjukkan bahwa kondisi irreversibilitas kecil belum dipastikan efektivitas perpindahan kalornya yang paling baik. Dari hasilnya memberikan beban panas yang diberikan pada menara pendingin (efisiensi eksergi) bervariasi dari 41,12% sampai 59,04% (lihat gambar 4).

Dari hasil penelitian juga menganalisis beberapa parameter lain yang mempengaruhi perubahan temperatur pendinginan yang dihasilkan oleh menara pendingin meliputi temperatur bola basah lingkungan (*wet bulb ambient temperature*), kelembaban udara, temperatur air masuk menara pendingin, dan laju aliran massa air. Akan tetapi perubahan temperatur lingkungan merupakan parameter yang sangat mempengaruhi nilai efisiensi eksergi pada menara pendingin.



Gambar 3. Perbandingan nilai irrevesibilitas (kW) terhadap waktu (jam)



Gambar 4. Perbandingan nilai efisiensi eksergi (%) terhadap waktu (jam)

Tujuan dari penelitian ini ialah menganalisa kinerja dari sebuah menara pendingin (*cooling tower*) di pabrik urea Pusri I-B. Kinerja dari menara pendingin dapat diketahui dengan menggunakan metode analisis eksergi dapat mengetahui nilai irreversibilitas dan efisiensi eksergi selama 24 jam. Dari penelitian ini mendapatkan bahwa perubahan temperatur lingkungan merupakan parameter yang sangat mempengaruhi nilai efisiensi eksergi dari menara pendingin.

VI. DAFTAR PUSTAKA

John E. Ahern, "The Exergy Method of Energy System Analysis", 1980, John Wiley & Sons, Inc, Canada

Kotas, T.J., "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", 1985, Department of Mechanical Engineering Queen Mary College University of London, Anchol Bredon, Ltd, London.

Moran, Micheal. J; Bejan, Andrian, "Thermal Design and Optimization", 1996, John Wiley & Sons, Inc, Singapore.

Arora, C.P, "Refrigeration and Air Condition" 2nd Edition, 2000, Tata Mc.Graw-Hill, Newdelhi.

Stoecker, Willbert. F; Jones, J.W; Hara, Supratman, "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, 1987, Erlangga.

Dineer, Ibrahim ; Cengel.A.Yunus, "Energy, Entropy and Exergy Concepts and their roles in Thermal Engineering", 2001,3, pp 116-149,

Bore,Clety Kwambai, "Exergy Analysis of Olkaria I Power Plant, Kenya", 2005,pp 1-35

- Wall, Goran, “ Exergy Conversion in the Japanese Society”, 1990, Energy Vol.15,pp 434-444
- Erik, Saunar, “ Improving Energy flows in an Industrial Society by taxing Exergy losses in Material Production, 2005, pp 1-35,
- M.M.Castro; T.W.Song, “ Operation cost minimization in cooling water system”, 2000, Department of chemical engineering Universty of Sao Paulo, Brazil.
- Quijano, Julio, “ Exergy analysis the Ahuachapan and Berlin geothermal fields, El-Savador”, 2000, proceedings world geothermal congress, Kyushu-Tohoku, Japan, pp 861-866.
- Operasional data sheet, PT. Pusri I-B, 22 Januari 2009.
- 2001 ASHRAE Handbook CD.