

ANALISA EKSERGI VARIASI KECEPATAN UDARA DAN BEBAN PENGERINGAN PADA MESIN PENGERING BERTENAGA GAS

*Ambo Intang, Marshally Pamoga

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tamansiswa Palembang.

*) ambo.intang@gmail.com

ABSTRAK

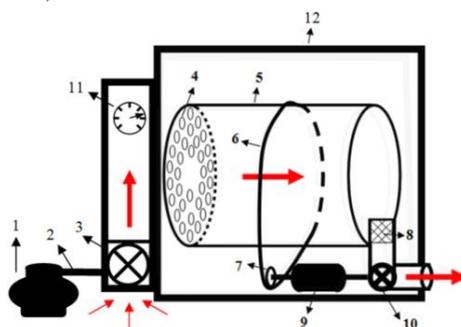
Mesin pengering pakaian digunakan untuk menghilangkan kandungan air yang ada pada pakaian dengan cara mengalirkan udara panas kedalam tabung pengeringan. Untuk menentukan kualitas dan kuantitas energi panas yang dimanfaatkan pada proses pengeringan diperlukannya analisis berdasarkan hukum pertama dan kedua termodinamika. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara masuk (2.5 m/s, 3.3 m/s dan 4 m/s) dan variasi beban (2 kg, 4 kg, dan 6 kg) terhadap efisiensi energi dan efisiensi eksergi sistem pengering. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin meningkat beban dan kecepatan aliran udara masuk maka semakin meningkat efisiensi energi pengeringannya. Sebaliknya efisiensi ekserginya menurun dengan meningkatnya beban dan kecepatan aliran udara masuk. Dari hasil analisa energi pengeringan yang lebih efektif pada kecepatan aliran udara masuk 4 m/s hal ini disebabkan karena kapasitas udara dalam ruang pengeringan lebih besar sehingga pakaian lebih cepat kering. Sebaliknya hasil analisa eksergi pengeringan yang lebih efektif pada kecepatan aliran udara masuk 2.5 m/s hal ini disebabkan karena analisa eksergi dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, dengan meningkatkan aliran udara masuk maka menyebabkan eksergi losses yang besar.

Kata kunci : pengering pakaian, kecepatan aliran udara masuk, energi dan eksergi

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya metode pendekatan yang dipakai dalam menganalisis proses pengeringan selama ini didasarkan pada keseimbangan energi (hukum pertama termodinamika). Metode analisis ini hanya menunjukkan aliran energi dalam proses tetapi tidak memberikan gambaran bagaimana kualitas energi turun selama proses akibat terbentuknya entropi dan irreversibilitas (Graveland & Gisolf, 1998; Manalu Lamhot P. dkk, 2010).

Untuk melihat bagaimana energi yang masuk kedalam suatu sistem pengeringan telah digunakan secara optimal dari sisi kualitas energi, digunakan metode analisis berdasarkan hukum kedua termodinamika atau analisis eksergi. Eksergi diartikan sebagai kerja maksimum yang diperoleh atau kerja minimum yang dibutuhkan oleh sistem dari suatu aliran massa, panas atau kerja (Cengel dan Boles, 2002). Analisis eksergi telah menjadi alat penting yang banyak digunakan dalam studi tentang desain, analisis dan optimasi suatu sistem termal pada beberapa tahun terakhir ini. Walaupun demikian, baru sedikit artikel yang memakai pendekatan analisis eksergi pada proses pengeringan (Dincer & Sahin, 2004; Akpınar, 2004).



Keterangan Gambar 1:

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. Tabung Elpiji | 7. Pulley |
| 2. Selang Regulator | 8. Filter / Saringan |
| 3. Kipas Angin | 9. Motor Listrik |
| 4. Lubang Saluran Masuk Drum | 10. Fan |
| 5. Drum | 11. Termometer Bimetal |
| 6. Vant Belt / Sabuk | 12. Casing/Pembungkus
Komponen Mesin |

Gambar 1. Skema Mesin Pengering Pakaian (Ambo Intang, 2017 dan 2018)

Pengering pakaian pada Gambar 1 adalah mesin pengering dengan pemanas berupa aliran udara panas, sumber panas dihasilkan dari pembakaran dari gas LPG dengan udara menjadi model dalam penelitian ini. Mesin ini merupakan modifikasi dari mesin pengering pakaian yang menggunakan komponen elemen pemanas. Modifikasi dilakukan untuk menekan biaya kebutuhan listrik dari mesin tersebut dimana mesin yang di teliti berdaya 2200 watt bila menggunakan komponen elemen pemanas. Dengan memanfaatkan panas dari pembakaran gas LPG, diharapkan penelitian ini dapat diketahui pemanfaatan energi di ruang pengeringan setelah penggantian sistem pemanas pada mesin tersebut, mengetahui pengaruh kecepatan udara masuk terhadap energi penguapan, mengetahui pengaruh kecepatan udara masuk terhadap efisiensi energi dan efisiensi eksergi pengeringan dan mengetahui karakteristik grafik efisiensi energi dan efisiensi eksergi dari hasil penelitian.

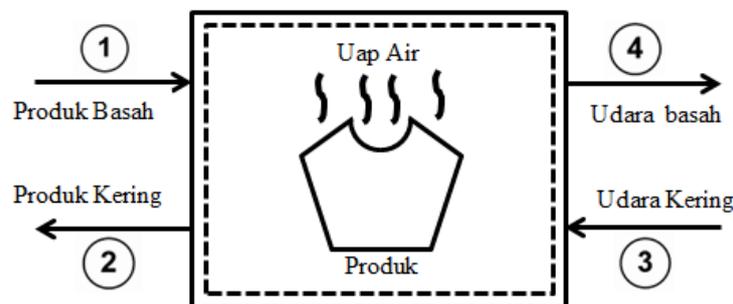
2. METODELOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan energi (metode kuantitatif) dan eksergi (metode kualitatif) pada mesin pengering pakaian (Gambar 1), kemudian dianalisis berdasarkan sistem yang telah dikonversi dari pemanas udara dengan elemen pemanas elektrik ke furnace yang berbahan bakar gas melalui sistem alat penukar kalor dengan pemanas gas hasil pembakaran dimana udara sebagai gas ideal yang mengeringkan pakaian, sehingga divariasikan kecepatan aliran udara masuknya terhadap beban pengeringan. Variasi kecepatan aliran udara masuk yaitu 2.5 m/s , 3.3 m/s dan 4 m/s dan beban pengeringan 2 kg, 4 kg dan 6 kg , energi potensial dan energi kinetik diabaikan, hanya menganalisa efisiensi energi dan eksergi di ruang pengeringan saja dan penelitian dilakukan di lingkungan dengan temperatur (28 – 29)^oC pada tekanan atmosfer.

Proses kerja dari mesin pengering pakaian (Gambar 1) adalah sebagai berikut :

Udara yang didorong masuk oleh kipas angin [3] dipanaskan oleh burner hasil pembakaran gas elpiji yang kemudian udara panas tersebut mengalir dan temperaturnya terbaca oleh termometer bimetal [11] hingga masuk ke dalam drum [5] melalui lubang saluran masuk drum [4]. Ketika didalam drum udara panas tersebut mengeringkan pakaian bersamaan dengan putaran bolak balik drum oleh vent bell [6] yang digerakkan oleh motor listrik [9], karena putaran dari fan [10] udara didalam drum terhisap dan tersaring oleh filter [8] dan dibuang ke lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa energi dan eksergi di ruang pengeringan pada mesin pengering pakaian dengan menggunakan heater berupa burner dari pembakaran gas elpiji, oleh karena itu dibutuhkan pemodelan ruang pengering. Adapun pemodelan dari pengujian ini ditampilkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Pemodelan Pengujian

Dititik 1 produk basah berupa pakaian lembab (Wb) dengan berat yang ditetapkan yaitu variasi 2 kg, 4 kg dan 6 kg dan titik 2 produk kering berupa pakaian yang telah dikeringkan (Wk). Dan untuk titik 3 dan 4 data – data yang diperlukan untuk menganalisa energy dan eksergi pada penelitian ini, dimana titik 3 data yang diukur yaitu kecepatan udara masuk (vin) dengan

kecepatan yang divariasikan (2.5 m/s , 3.3 m/s dan 4 m/s) dan temperature masuk ruang pengeringan (T_{in}) sedangkan dititik 4 data yang diukur yaitu kecepatan udara keluar (v_{out}) yaitu 3.2 m/s dan temperature keluar berupa temperatur bola basah (T_{wb}) dan temperatur bola kering (T_{db}). Dari hasil pengukuran untuk dimensi pada penampang sisi masuk berdiameter 15 cm dan penampang sisi keluar berdiameter 13 cm.

Setelah persiapan telah dilakukan selanjutnya pengambilan data, adapun langkah – langkah yang dilakukan untuk pengambilan data pada penelitian ini yaitu :

- Pasang alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian.
- Setelah alat dan bahan telah terpasang dengan baik, kemudian lakukan pemeriksaan kebocoran gas disetiap sambungan selang penghantar.
- Jika sudah aman langkah selanjutnya hidupkan mesin pengering pakaian dan kipas (fan) sebagai pemanasan awal pada ruang pengering yang akan diteliti.
- Setelah mesin dan alat pengukur variabel sudah siap masukkan pakaian lembab ke dalam mesin pengering pakaian.
- Kemudian variabel – variabel yang terukur dicatat kedalam tabel yang mana pengukuran ditentukan dengan waktu yang telah ditetapkan yaitu setiap 5 menit hingga temperatur udara kering di sisi keluaran ruang pengering 43 °C.
- Ulangi langkah – langkah dari (d) hingga (e) untuk variasi beban dan kecepatan udara masuk yang telah ditetapkan.
- Setelah semua data telah diperoleh matikan mesin.

Dari data yang telah diperoleh kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan efisiensi energi dan eksnerginya. Berikut adalah langkah perhitungan untuk beban 2 kg dengan kecepatan masuk 2.5 m/s pada waktu 5 menit :

Perhitungan Laju Aliran Massa

Untuk laju aliran udara kering (\dot{m}_{da})

Aliran udara kering (\dot{m}_{da}) dihitung pada sisi saluran masuk dimana pada sisi masuk ruang pengeringan diameter lubang saluran masuknya 15 cm.

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 (0.15 \text{ m})^2 = 0.01766 \text{ m}^2$$

Densitas udara kering (ρ_{da}) dihitung menggunakan persamaan (1) (Ballaney, PL. 1994) pada tekanan atmosfer:

$$\rho_{da} = 0,0035 \frac{P_{da}}{T_{da}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\rho_{da} = 0.0035 \left(\frac{101325}{343.15} \right) = 1.03348 \text{ kg/m}^3$$

Untuk laju aliran udara menggunakan persamaan (2) (Moran dan Shapiro, 2000) :

$$\dot{m} = \rho A v = \frac{A v}{v} \dots\dots\dots(2)$$

$$\dot{m}_{da} = (\rho_{da} A v)_{in} = 1.03348 \times 0.01766 \times 2.5 = 0.04564 \text{ kg/s}$$

Untuk laju aliran penguapan (\dot{m}_w)

Aliran udara lembab (\dot{m}_w) dihitung pada sisi saluran keluar dimana pada sisi keluar ruang pengeringan diameter lubang saluran masuknya 13 cm.

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 (0.13 \text{ m})^2 = 0.01327 \text{ m}^2$$

Densitas udara lembab (ρ_w) dihitung menggunakan persamaan (3) (Ballaney, PL. 1994) pada tekanan atmosfer:

$$\rho_w = \rho_{da}(1 + w)/(1 + 1,609w) \dots\dots\dots(3)$$

$$\rho_w = \frac{1.03348(1 + 0.0300)}{1 + (1.609 \times 0.0300)} = 1.01546 \text{ kg/m}^3$$

Untuk laju aliran udara menggunakan persamaan (2) :

$$\dot{m}_w = (\rho_w A v)_{out} = 1.01546 \times 0.01327 \times 3.2 = 0.04312 \text{ kg/s}$$

Perhitungan Energy Utility (EU) dan Energy Utility Ratio (EUR)

Besarnya nilai entalpi pada sisi masuk dan sisi keluar dapat ditentukan menggunakan persamaan (4) dan kalor spesifik dapat dicari menggunakan persamaan (5) (Ndubisi A. Aviara dkk, 2014).

$$h = C_{p,da} T_{da} + wh_{fg} \dots\dots\dots(4)$$

$$C_{p,da} = 1,0029 + 5,4 \times 10^{-5} T_{da} \dots\dots\dots(5)$$

Pada sisi masuk ruang pengeringan menggunakan temperatur masuk (T_{in})

$$C_{p,da} = 1.0029 + 5.4 \times 10^{-5} (70) = 1.006680 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_{in} = (1.006680 \times 343.15) + (0.0300 \times 112.72) = 348.82 \text{ kJ/kg}$$

Pada sisi keluar ruang pengeringan menggunakan temperatur keluar (T_{out})

$$C_{p,da} = 1.0029 + 5.4 \times 10^{-5} (35.5) = 1.004817 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_{out} = (1.004817 \times 308.65) + (0.0300 \times 112.72) = 313.52 \text{ kJ/kg}$$

Energy Utility yaitu energi yang dimanfaatkan untuk proses pengeringan. Energy Utility dapat dicari menggunakan persamaan (6) dan (7) (Middli dan Kucuk, 2003) :

$$EU = \dot{m}_a(h_{in} - h_{out}) \dots\dots\dots(6)$$

$$EU = 0.04564(348.82 - 313.52) = 1.6112 \text{ kW}$$

Energy Utility Ratio (EUR) yaitu perbandingan energi yang dimanfaatkan terhadap energi yang masuk ke ruang pengeringan. Energy Utility Ratio dapat dicari menggunakan persamaan (15) :

$$EUR = \frac{\dot{m}_a(h_{in}-h_{out})}{\dot{m}_a(h_{in}-h_0)} \dots\dots\dots(7)$$

$$EUR = \frac{0.04564(348.82 - 313.52)}{0.04564(348.82 - 301.35)} = 74.36 \%$$

Perhitungan Energi Penguapan

Energi penguapan (\dot{Q}_{evap}) dapat dicari menggunakan persamaan (8) (O. Corzo dkk, 2008) :

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_w h_{fg} \dots\dots\dots(8)$$

$$\dot{Q}_{evap} = 0.04312 \times 112.72 = 4.8606 \text{ kJ/s}$$

Perhitungan Energi dan Efisiensi Energi

Energi dapat dicari menggunakan persamaan (9) (Moran dan Shapiro, 2000):

$$\dot{E}_{in} = U = mh = mcT \dots\dots\dots(9)$$

$$\dot{E}_{in} = 0.04312 \times 348.82 = 15.9188 \text{ kW}$$

Efisiensi energi yaitu kemampuan energi panas yang masuk kedalam ruang pengeringan untuk menguapkan kandungan air pada produk. Efisiensi energi dapat dicari menggunakan persamaan (10) (Ndubisi A. Aviara dkk, 2014):

$$\eta_{En} = \frac{\dot{E}_{in} - \dot{Q}_{evap}}{\dot{E}_{in}} \dots\dots\dots(10)$$

$$\eta_{En} = \frac{15.9188 - 4.8606}{15.9188} = 69.47 \%$$

Perhitungan Eksergi dan Efisiensi Eksergi

Eksergi dapat dicari menggunakan persamaan (11), untuk nilai entalpi pada temperatur lingkungan dan nilai entropi dapat dilihat pada table 22 termodinamika properties untuk udara (Moran dan Shapiro, 2000) :

$$\dot{E}x = \dot{m} \left[h - h_0 - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \right] \dots\dots\dots(11)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}x_{in} &= 0.04564 [348.82 - 301.35 - 301.15(1.83709 - 1.70585)] \\ &= 0.3630 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}x_{out} &= 0.04564 [313.52 - 301.35 - 301.15(1.73057 - 1.70585)] \\ &= 0.2157 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\dot{E}x_{loss} = 0.3630 - 0.2157 = 0.1473 \text{ kW}$$

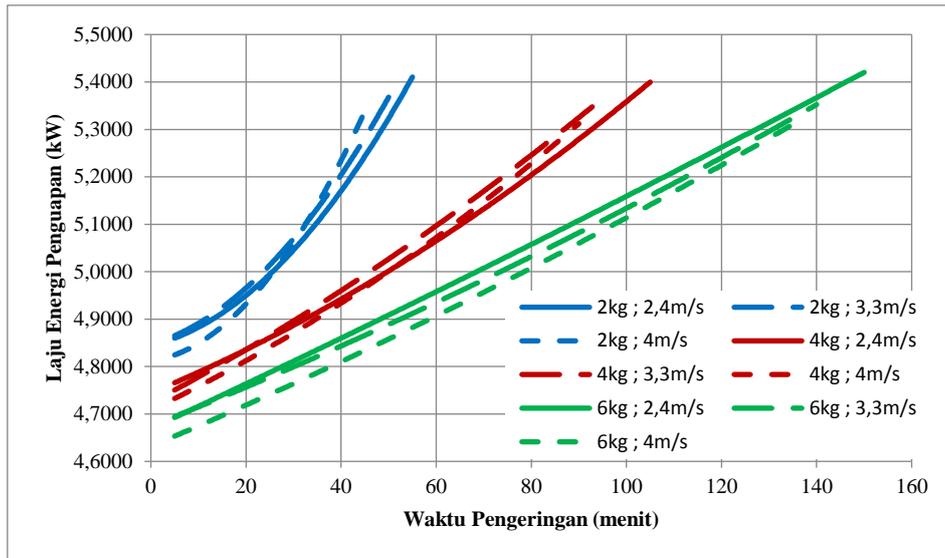
Efisiensi eksergi yaitu kemampuan maksimum suatu energi panas yang dimanfaatkan untuk proses pengeringan. Efisiensi energi dapat dicari sebagai berikut :

$$\eta_{Ex} = \frac{0.3630 - 0.1473}{0.3630} = 59.43 \%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Laju Energi Penguapan Terhadap Waktu Pengeringan

Dari grafik laju energi penguapan terhadap waktu pengeringan dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat waktu pengeringan semakin meningkat energi penguapannya. Beban dan kecepatan aliran udara masuk sangat mempengaruhi energi penguapan. Semakin meningkat beban yang dikeringkan semakin menurun laju energi penguapannya diwaktu pengeringan pertama dengan kecepatan yang sama yaitu 4.8606 kW pada beban 2 kg dengan kecepatan 2.5 m/s , 4.7639 kW pada beban 4 kg dengan kecepatan 2.5 m/s dan 4.6922 kW pada beban 6 kg dengan kecepatan 2.5 m/s.

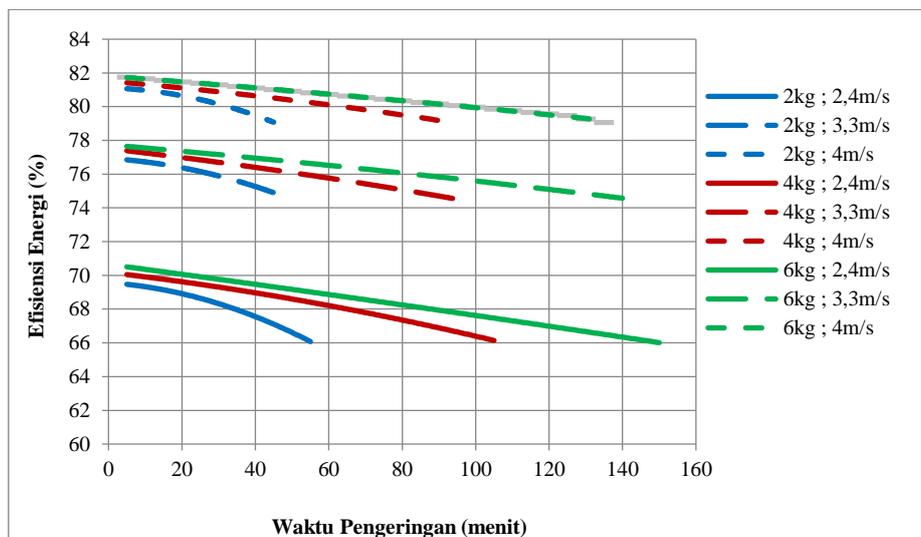


Gambar 3. Grafik hubungan Laju energi penguapan terhadap waktu pengeringan

Begitu juga semakin meningkat kecepatan aliran udara masuk semakin menurun laju energi penguapannya diwaktu pengeringan pertama dengan beban yang sama yaitu 4.8606 kW pada beban 2 kg dengan kecepatan 2.5 m/s , 4.8555 kW pada beban 2 kg dengan kecepatan 3.3 m/s , 4.8138 kW pada beban 2 kg dengan kecepatan 4 m/s dan pada beban yang lebih besar kecenderungannya demikian juga jika waktu pengeringan dilanjutkan.

3.2. Pengaruh Efisiensi Energi Terhadap Waktu Pengeringan

Dari grafik efisiensi energi terhadap waktu pengeringan dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat waktu pengeringan semakin menurun efisiensi energinya. Beban dan kecepatan aliran udara masuk sangat mempengaruhi efisiensi energi. Semakin meningkat beban yang dikeringkan semakin meningkat efisiensi energinya diwaktu pengeringan pertama dengan kecepatan yang sama yaitu 69.47 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 2.5 m/s , 70.06 % pada beban 4 kg dengan kecepatan 2.5 m/s dan 70.51 % pada beban 6 kg dengan kecepatan 2.5 m/s.

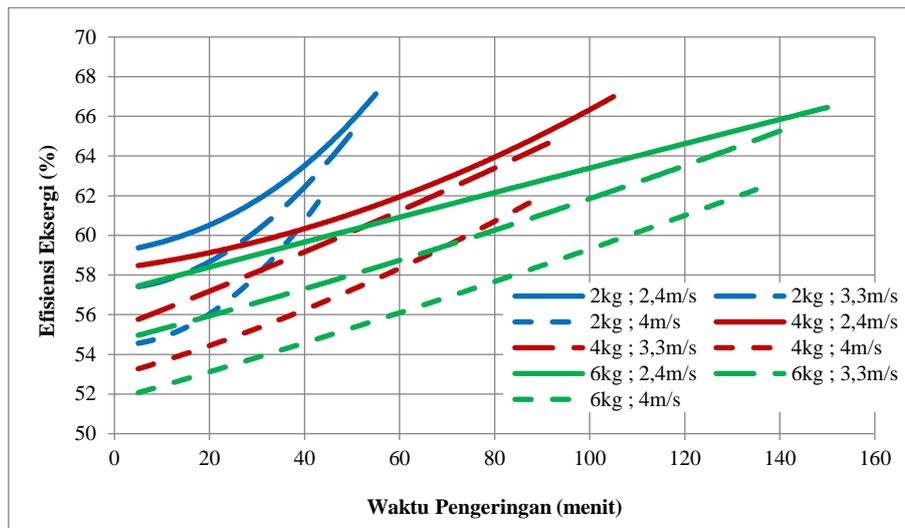


Gambar 4. Grafik Hubungan Efisiensi Energi terhadap Waktu Pengeringan

Begitu juga semakin meningkat kecepatan aliran udara masuk semakin meningkat efisiensi energi diwaktu pengeringan pertama dengan beban yang sama yaitu 69.47 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 2.5 m/s , 76.90 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 3.3 m/s , 81.10 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 4 m/s.

3.3. Pengaruh Efisiensi Eksergi Terhadap Waktu Pengeringan

Dari grafik di bawah ini, dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat waktu pengeringan semakin menurun efisiensi ekserginya. Beban dan kecepatan aliran udara masuk sangat mempengaruhi efisiensi eksergi, semakin meningkat beban yang dikeringkan semakin menurun efisiensi ekserginya diwaktu pengeringan pertama dengan kecepatan yang sama yaitu 59.43 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 2.5 m/s , 58.25 % pada beban 4 kg dengan kecepatan 2.5 m/s dan 57.47 % pada beban 6 kg dengan kecepatan 2.5 m/s.



Gambar 5. Grafik Hubungan Efisiensi Eksergi terhadap Waktu Pengeringan

Begitu juga semakin meningkat kecepatan aliran udara masuk semakin menurun efisiensi ekserginya diwaktu pengeringan pertama dengan beban yang sama yaitu 59.43 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 2.5 m/s , 57.18 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 3.3 m/s , 54.42 % pada beban 2 kg dengan kecepatan 4 m/s.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan pada penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin meningkat beban dan kecepatan aliran udara masuk maka semakin meningkat pula efisiensi energi pengeringannya yaitu 68.10 % pada beban 2 kg dengan kecepatan udara masuk 2.5 m/s dan 80.52 % pada beban 6 kg dengan kecepatan aliran udara masuk 4 m/s. Dan sebaliknya dengan beban dan kecepatan aliran udara masuk semakin meningkat maka semakin menurun efisiensi ekserginya yaitu 62.37 % pada beban 2 kg dengan kecepatan aliran udara masuk 2.5 m/s dan 56.99 % pada beban 6 kg dengan kecepatan aliran udara masuk 4 m/s.
2. Semakin meningkat beban dan kecepatan aliran udara masuk maka semakin menurun energi penguapannya baik pada beban maupun pada kecepatan aliran udara masuk yang sama yaitu dengan besar energi 5.0815 kW pada beban 2 kg dengan kecepatan aliran udara masuk 2.5 m/s dan 4.9657 kW pada beban 6 kg dengan kecepatan aliran udara masuk 4 m/s.

3. Dari hasil analisa energi pengeringan yang lebih efektif pada kecepatan aliran udara masuk 4 m/s hal ini disebabkan aliran udara panas yang masuk ke dalam ruang pengeringan lebih cepat sehingga pakaian lebih cepat kering.
4. Dari hasil analisa eksergi pengeringan yang lebih efektif pada kecepatan aliran udara masuk 2.5 m/s hal ini disebabkan karena analisa eksergi dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, dengan meningkatkan aliran udara masuk maka menyebabkan eksergi losses yang besar.

4.2. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan bagi penelitian selanjutnya yaitu :

1. Pada penelitian ini pengujian dilakukan di lingkungan dengan temperatur 28oC – 29oC, maka untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengujian di lingkungan dengan temperatur yang bervariasi agar dapat disimpulkan apakah temperatur lingkungan juga mempengaruhi efisiensi energi dan efisiensi eksergi atau tidak mempengaruhinya.
2. Bagi masyarakat umum khususnya pengusaha Laundry agar mesin pengering pakaiannya mendapatkan efisiensi energi yang tinggi pada rangkaian mesin pengeringan yang sama dengan penelitian ini sebaiknya menggunakan kecepatan aliran udara masuk 4 m/s dengan beban yang dikeringkan 6 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- Akpinar E. Kavak. (2004). *Energy and Exergy Analyses of Drying of Red Pepper Slices in A Convective Type Dryer*. Journal International Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 31, No. 8, pp. 1165 – 1176. Science Direct. Elsevier.
- Ballaney, PL. 1994. Thermal Engineering. Edisi 20. Chap 25-29. New Delhi: Khana Publishers
- Cengel, Y.A. and M.A. Boles. (2002). *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 4th Edition. Boston-Toronto: Mc-Graw Hill.
- Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A. and A. Pereira. (2008). *Energy and Exergy Analysis of Thin Layer Drying of Coroba Slices*. Journal of Food Engineering, 86, 151 – 161. Science Direct. Elsevier.
- Dincer, I. and A.Z. Sahin. (2004). *A New Model for Thermodynamic Analysis of A Drying Process*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 47(4), 645–652.
- Graveland, A.J.G.G. and E. Gisolf. (1998). *Exergy Analysis: An Efficient Tool Process Optimization and Understanding*. Computers Chemical Engineering. Vol. 22, Suppl. pp. 5545 – 5552.
- Intang A., Nursiwan N.. 2017. Analisa eksergi sistem pompa panas penegring pakaian kapasitas 7 kg pada AC $\frac{3}{4}$ PK. Flywheel, Vol. 3, No. 1, hal. 10-20. Tersedia di <http://sinta2.ristekdikti.go.id/authors/detail?id=6012573&view=overview>
- Intang A., Darmansyah D.. 2018. Analisa termodinamika laju perpindahan panas dan pengeringan pada mesin pengering berbahan bakar gas dengan variabel temperatur lingkungan. Flywheel, Vol. IV, No. 1, hal. 10-20. Tersedia di <http://sinta2.ristekdikti.go.id/authors/detail?id=6012573&view=overview>
- Manalu Lamhot P., Armansyah H. Tambunan, Leopold O. Nelwan, Agus R. Hoetman. (2010). *Analisis Energi dan Eksergi Pengeringan Lapisan Tipis Temu Putih*. Jurnal Ilmiah Teknologi Energi, Vol 1, No 9.

- Midilli A., H. Kucuk. (2001). *Energy and Exergy Analyses of Solar Drying Process of Pistachio*. Journal Energy 28, 539 – 556. Science Direct. Elsevier.
- Moran, M. J. and Shapiro, H. N. (2000). *Termodinamika Teknik*. Edisi 4. Jilid 1&2. Terjemahan oleh Yulianto Sulisty Nugroho. 2004. Universitas Indonesia: Erlangga.
- Ndubisi A. Aviara, Lovelyn N. Onuoha, et al. (2014). *Energy and Exergy Analyses of Native Cassava Starch Drying in a Tray Dryer*. Journal Energy 73, 809 – 817.