

ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI PENGERINGAN PISANG MEMANFAATKAN PANAS DARI KONDENSOR AC (AIR CONDITIONER)

Indra Hermawan^{1*} & Mulia²

^{1,2}Program Studi Mesin Otomotif, Politeknik LP3I Medan

Telp: 061-7867311 Fax: 061-7874466

*E-mail: Indra98031@gmail.com

ABSTRAK

AC (*Air Conditioner*) yang lebih dikenal dengan pendingin ruangan banyak digunakan baik pada rumah tangga maupun perkantoran. Selama ini AC hanya dimanfaatkan udara dinginnya saja sedangkan panas yang keluar melalui kondensor lebih banyak dibuang ke lingkungan. Panas dari kondensor AC dapat dimanfaatkan untuk pengeringan bahan pangan atau hasil pertanian. Tujuan dari penelitian ini secara umum memanfaatkan panas dari kondensor AC untuk pengeringan pisang, sedangkan tujuan khususnya adalah untuk mengetahui model termodinamik pengeringan pisang serta melakukan kajian energi dan eksergi pada proses pengeringan ini. Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh COP dari sistem adalah sebesar 5,25, laju pengeringan (*drying rate*) sebesar 3,74 gr/menit, energi pengeringan rata-rata adalah 0,68 kW dengan efisiensi energinya adalah 24,83% dan eksergi pengeringan rata-rata adalah sebesar 0,009 kW dengan efisiensi eksergi pengeringan adalah 20,56%.

Kata kunci : Kondensor, energi, eksergi.

PENDAHULUAN

Air Conditioner (AC), di Indonesia lebih dikenal dengan pendingin ruangan penggunaannya merupakan hal yang biasa dalam kehidupan sehari-hari. Tidak hanya dirumah-rumah, tetapi juga di kantor dan terutama di gedung yang kebutuhan akan udara sejuk sangat diperlukan akibat dari tidak adanya sirkulasi udara didalam ruangan. Di tambah lagi Indonesia yang beriklim tropis dimana udara panas tidak terhindarkan lagi terutama di kota-kota besar. Prinsip kerja dari AC itu sendiri adalah evaporator menyerap panas dari ruangan dan akan membuang panasnya melalui kondensor. Panas dari kondensor umumnya terbuang ke lingkungan.

Panas merupakan energi yang banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari antara lain adalah untuk pengeringan. Pengeringan dikenal sebagai proses yang sarat dengan energi, untuk itu proses pengeringan berbagai bahan atau komoditi pertanian perlu dipelajari agar didapatkan proses yang efisien. Pada umumnya metode pendekatan yang dipakai dalam menganalisis proses pengeringan selama ini didasarkan pada keseimbangan energi (hukum pertama termodinamika). Pisang (*Musa paradisiaca*) sebagai salah satu tanaman buah-buahan mempunyai potensi besar diolah menjadi tepung sebagai substitusi tepung terigu. Proses pengolahan pisang menjadi tepung pisang melewati suatu tahap yaitu proses pengeringan. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis energi dan eksergi pada proses pengeringan pisang yang memanfaatkan panas yang berasal dari kondensor AC.

Sistem Termodinamika

Termodinamika didefinisikan sebagai usaha untuk mengubah panas menjadi tenaga. Sistem termodinamika didefinisikan sebagai besaran atau ukuran sesuatu atau suatu area yang dipilih untuk dianalisis.

Hukum termodinamika pertama merupakan salah satu kaidah alam yang paling mendasar yaitu prinsip kekekalan energi (*energy conservation principle*). Kaidah tersebut menyatakan bahwa energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya, tetapi jumlah energinya tetap sama. Secara matematis dinyatakan bahwa energi dari suatu sistem sama dengan selisih antara energi masuk dan keluar. Persamaan ini dikenal juga dengan persamaan keseimbangan energi.

$$\Delta E = E_{in} - E_{out} \tag{1}$$

Hukum termodinamika kedua menyatakan bahwa selain memiliki kuantitas, energi juga memiliki kualitas dan suatu proses yang riil akan berlangsung pada arah kualitas energi yang semakin menurun. Jadi walaupun tidak ada kuantitas energi yang hilang, kualitas energi selalu berkurang selama proses. Besaran dari kualitas energi yang berkurang ini disebut dengan eksergi.

Keseimbangan Massa, Energi, Entropi dan Eksergi

Persamaan keseimbangan massa dapat di tuliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \tag{2}$$

Dimana \dot{m} adalah laju aliran massa. Keseimbangan energi dapat dituliskan sebagai total energi masuk samadengan total energi keluar;

$$\sum \dot{E}_{in} = \sum \dot{E}_{out} \tag{3}$$

Total eksergi dari sistem, \dot{E}_x ditentukan atas 4 komponen yaitu : eksergi fisik (*physical exergy*) \dot{E}_x^{PH} , eksergi kinetik (*kinetic exergy*) \dot{E}_x^{KN} , eksergi potensial (*potential exergy*) \dot{E}_x^{PT} , dan eksergi kimia (*chemical exergy*) \dot{E}_x^{CH} . (Hepbasli, 2008)

$$\dot{E}_x = \dot{E}_x^{PH} + \dot{E}_x^{KN} + \dot{E}_x^{PT} + \dot{E}_x^{CH} \tag{4}$$

Total eksergi tertentu secara massal dapat ditulis sebagai berikut:

$$ex = ex^{PH} + ex^{KN} + ex^{PT} + ex^{CH} \tag{5}$$

Keseimbangan eksergi secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum \dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_{out} = \sum \dot{E}x_{dest} \tag{6}$$

Atau

$$E\dot{x}_{heat} - E\dot{x}_{work} + E\dot{x}_{mass,in} - E\dot{x}_{mass,out} = E\dot{x}_{dest} \tag{7}$$

Dimana:

$$E\dot{x}_{heat} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k \tag{8}$$

$$E\dot{x}_{work} = \dot{W} \tag{9}$$

$$E\dot{x}_{mass,in} = \sum \dot{m}_{in} \psi_{in} \tag{10}$$

$$E\dot{x}_{mass,out} = \sum \dot{m}_{out} \psi_{out} \tag{11}$$

Dimana \dot{Q}_k adalah laju pindahan panas melalui lapisan pada temperatur T_k di titik k dan \dot{W} adalah kerja rata-rata. Eksergi aliran (spesifik) dihitung dengan persamaan:

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \tag{12}$$

Dimana h adalah entalpi, s adalah entropi dan simbol 0 menyatakan sifat pada keadaan P_0 dan T_0 .

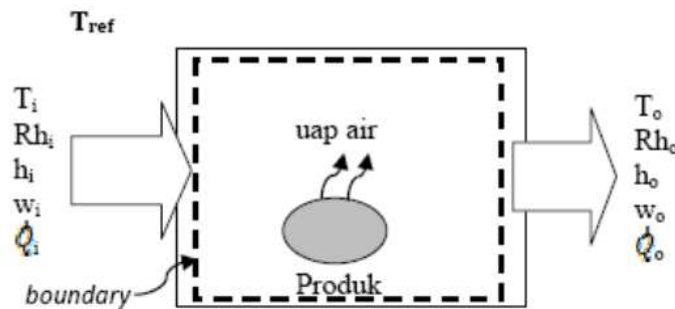
Keseimbangan entropi dituliskan dengan persamaan:

$$\dot{S}_{in} - \dot{S}_{out} + \dot{S}_{gen} = 0$$

Energi dan Eksergi Pengeringan.

Proses pengeringan bahan pada lembab (*moist solid*) digambarkan seperti pada gambar 1, dikategorikan sebagai sistem terbuka atau *control volume system* (Dincer & Sahin, 2004). Persamaan umum keseimbangan untuk sistem ini adalah (Bejan, Tsatsaronis, & Moran, 1996)

$$\begin{aligned} \frac{dE_{CV}}{dt} = & \sum_j \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) \dot{Q}_j - \\ & \left(\dot{W}_{CV} - p_o \frac{dV_{CV}}{dt} \right) + \\ & \sum_i \dot{m}_i e_i - \sum_e \dot{m}_e e_e - \dot{E}_D \end{aligned} \tag{13}$$



Gambar 1. Skema sistem pengeringan dengan control volume system

Metode yang digunakan pada analisis eksergi pengeringan berikut ini hanya didasarkan pada transfer panas atau suku pertama dari persamaan (13). Untuk menentukan perubahan eksergi yang terjadi pada sistem termal di atas maka disusun persamaan keseimbangan energi pada produk dan sistem secara keseluruhan. Persamaan keseimbangan energi pada produk:

$$hA(T_i - T_p) = mC_p \frac{dT_p}{dt} + \dot{m}_w h_{fg} \tag{14}$$

Persamaan keseimbangan energi seluruh sistem adalah :

$$\dot{Q}_i = hA(T_i - T_p) + \dot{Q}_o \tag{15}$$

Diperoleh keseimbangan eksergi lingkungan (*dead state*) T_{ref} :

$$\dot{Q}_i \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_i} \right) = \left(mC_p \frac{dT_p}{dt} + \dot{m}_w h_{fg} \right) \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_p} \right) + \dot{Q}_o \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_o} \right) - T_{ref} \Delta s \tag{16}$$

Ruas kiri persamaan di atas disebut sebagai eksergi yang masuk ke dalam sistem (*exergy inflow*), dimana besarnya energi (\dot{Q}_i) dapat dihitung dengan persamaan,

$$\dot{Q}_i = \dot{m}h \tag{17}$$

\dot{m} adalah laju udara pengeringan (*air mass flow-rate*) sedangkan h adalah entalpi. Untuk menghitung persamaan keseimbangan eksergi di atas, perlu diperhatikan bahwa suhu produk (T_p) dan laju penguapan (\dot{m}_w) bervariasi menurut waktu. Nilai-nilai tersebut dapat dihitung secara simultan melalui persamaan keseimbangan energi pada produk dengan persamaan pengeringan yang sudah ditentukan terlebih dahulu. Persamaan 16 dapat disusun kembali menjadi:

$$mC_p \Delta T_p = hA(T_i - T_p) - \dot{m}_w h_{fg} \tag{17}$$

$$mC_p \frac{dT_p}{dt} = hA(T_i - T_p) - \dot{m}_w h_{fg} \tag{18}$$

Dengan menggunakan metode numerik beda hingga (*finite different*) persamaan di atas dapat ditulis menjadi:

$$mC_p \frac{T_{p(i+\Delta t)} - T_{p(i)}}{\Delta t} = hA(T_i - T_{p(i)}) - \dot{m}_w h_{fg} \tag{19}$$

$$T_{p(i+\Delta t)} = T_{p(i)} + \frac{\Delta t}{mC_p} [hA(T_i - T_{p(i)}) - \dot{m}_w h_{fg}] \tag{20}$$

Laju penguapan (\dot{m}_w) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \tag{21}$$

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt) = MR \tag{22}$$

$$\frac{dM}{dt} = -k(M_o - M_e)\exp(-kt) \tag{23}$$

$$\dot{m}_w = (m_{produk\ kering})[-kt(M_o - M_e)\exp(-kt)] \tag{24}$$

k dan M_e masing-masing adalah konstanta pengeringan dan kadar air keseimbangan, konstanta pengeringan (k) bervariasi menurut suhu. Konstanta pengeringan irisan pisang berkisar antara 0,0025 – 0,03 menit⁻¹ pada suhu 35 – 60°C. MR (*Moisture Ratio*) adalah laju penurunan kandungan air di dalam produk.

Selanjutnya koefisien perpindahan panas, h (W/m².K) dihitung berdasarkan persamaan perpindahan panas pada permukaan plat datar (persamaan 25). Koefisien h merupakan fungsi dari bilangan Nusselt (Nu), sedangkan Nu sendiri merupakan fungsi dari bilangan Reynolds (Re) dan Prandtl (Pr).

$$h = \frac{Nu.k}{L} \tag{25}$$

$$Nu = f(Re, Pr)$$

$$Re = \frac{L.Vu.\rho}{\mu} \tag{26}$$

Dimana L adalah panjang bahan yang dilalui aliran udara, Vu adalah kecepatan aliran udara, ρ adalah densitas dan μ adalah viskositas. Pada aliran fluida yang mengalir sejajar dengan benda dan nilai $Re < 1 \times 10^4$, bilangan Nu dihitung dengan persamaan:

$$Nu = 0,664 . Re^{1/2} . Pr^{1/3} \tag{27}$$

Sedangkan untuk aliran turbulen ($Re > 1 \times 10^4$), bilangan NU dihitung dengan persamaan:

$$Nu = 0,036 . Re^{4/5} . Pr^{1/3} \tag{28}$$

Untuk menentukan efisiensi berdasarkan eksergi (kadang-kadang disebut Efisiensi Hukum Kedua). Dincer dan Sahin (2004) mendefinisikan efisiensi eksergi pengeringan (*drying exergetic* = η_{ex}) sebagai ratio eksergi yang digunakan untuk pengeringan (*exergy investment*) terhadap eksergi yang disuplai ke dalam sistem (*exergy supplied*).

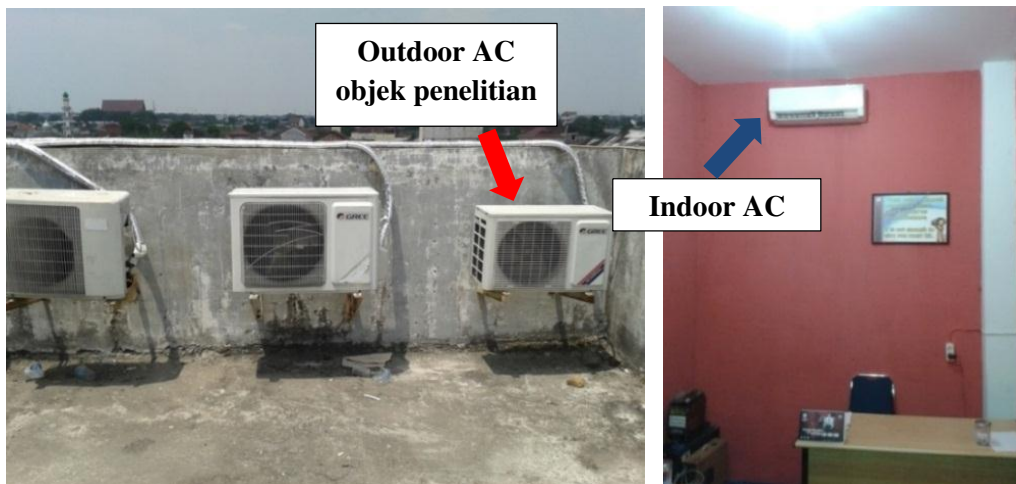
$$Exergy\ supplied = \dot{Q}_i \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_i} \right) \tag{29}$$

$$Exergy\ investment = \left(mC_p \frac{dT_p}{dt} + \dot{m}_w h_{fg} \right) \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_p} \right) \tag{30}$$

$$\eta_{ex} = \frac{exergy\ investment}{exergy\ supplied} \tag{31}$$

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian berupa pengukuran dan pengumpulan data dilakukan di gedung Politeknik LP3I Medan, dengan spesifikasi teknik AC yang menjadi objek penelitian adalah AC dengan merek Samsung dengan spesifikasi: Model: AS09TUQXXEA; Kapasitas pendinginan: 9000 Btu/h ; Rata-rata tegangan dan frekuensi: 220 – 240 V dan 50 Hz; Kuat Arus rata-rata: 4.0 A; Kuat Arus maks.: 4,7 A; Konsumsi Daya rata-rata: 800 W; Refrigerant: R22 . Objek penelitian seperti terlihat pada gambar 2.



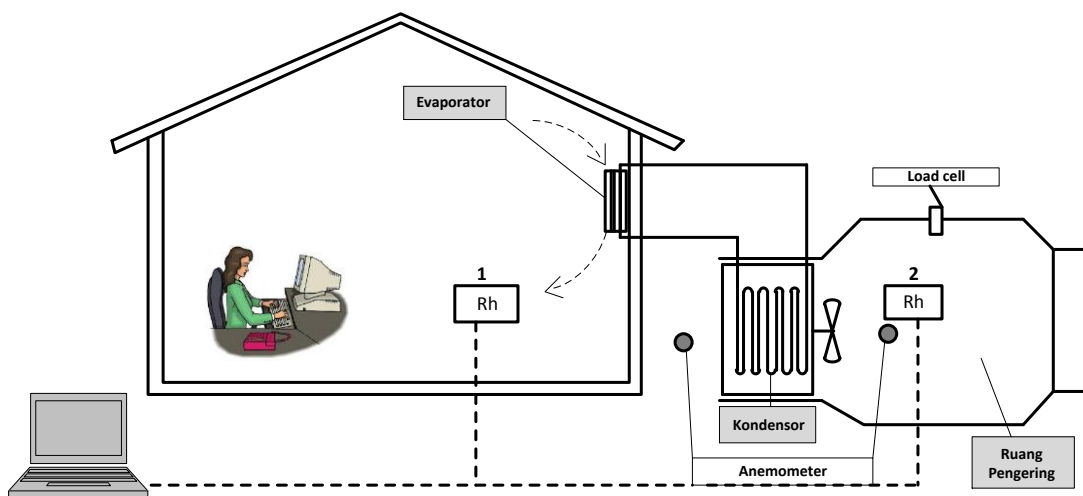
Gambar 2. Objek Penelitian

Peubah yang diamati/diukur dalam penelitian ini adalah Berat irisan pisang, kecepatan udara, kelembaban udara dan temperatur udara. Peubah yang diamati beserta alat ukur yang digunakan diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Peubah yang diamati

Peubah	Indikator	Deskriptor	Instrumen
Kecepatan Udara	Aliran udara	m/s	Anemometer
Kelembaban Udara	Alian udara	%	Rh meter
Temperatur udara	Aliran udara	°C	Rh meter
Berat irisan pisang	Irisan pisang	gr	Load cell

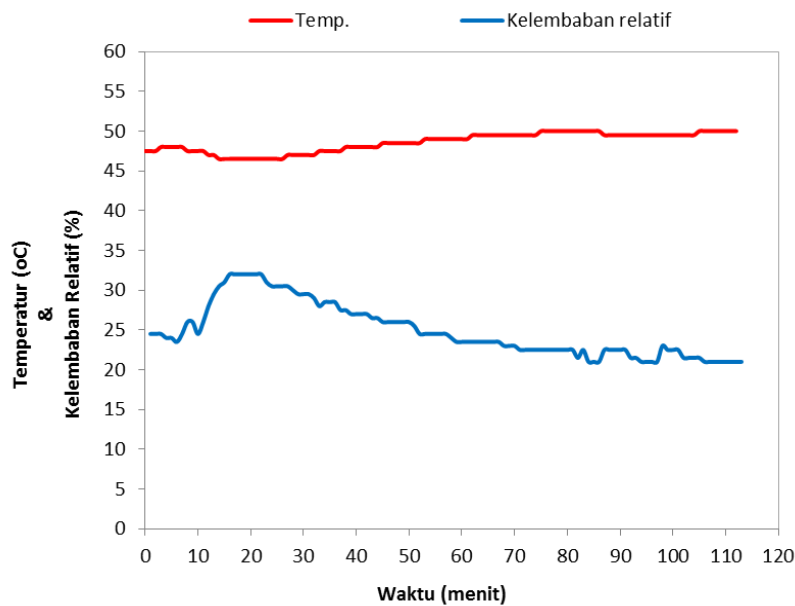
Pengukuran peubah dari penelitian dilakukan dengan menempatkan alat ukur sesuai dengan kondisi yang ingin dicapai, untuk itu dilakukan *set-up* peralatan seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Eksperimental setup

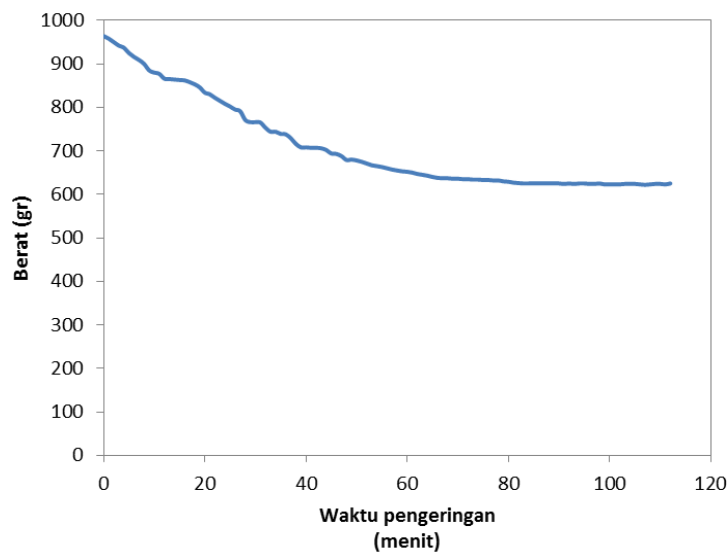
HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur rata-rata dan kelembaban relatif rata-rata udara yang keluar dari kondensor (ruang pengering) adalah 48,58oC dan 24,92%, sedangkan suhu udara maksimal yang dapat dihasilkan adalah 50,0oC dan kelembaban relatif minimum 21%. Grafik temperatur dan kelembaban relatif udara keluar dari kondensor hasil dari pengukuran dengan menggunakan Rh meter diperlihatkan pada gambar 4. Pada gambar terlihat bahwa suhu udara yang keluar dari kondensor dari menit ke 30 sampai dengan menit ke 120 memperlihatkan lebih stabil, demikian halnya dengan kelembaban relatifnya. Hal ini diharapkan bahwa suhu yang dihasilkan dapat dimanfaatkan, seperti untuk pengeringan produk/bahan yang tidak membutuhkan suhu yang terlalu tinggi sebagai suhu pengeringannya.



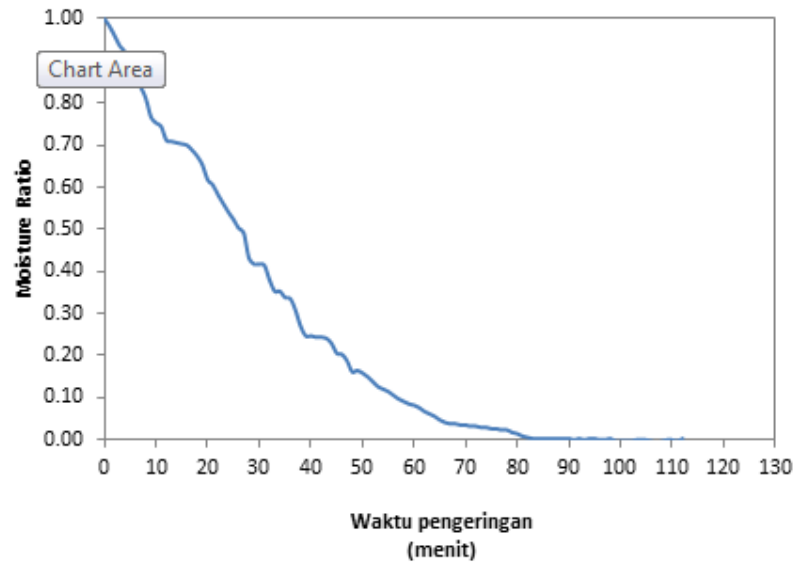
Gambar 4. Grafik temperatur dan kelembaban udara keluar dari kondensor

Kalor yang dilepaskan oleh kondensor rata-rata adalah 2,76 kW. Laju pengeringan (*drying rate*) adalah 3,74 gr/menit, kurva laju pengeringan diperlihatkan pada gambar 5.



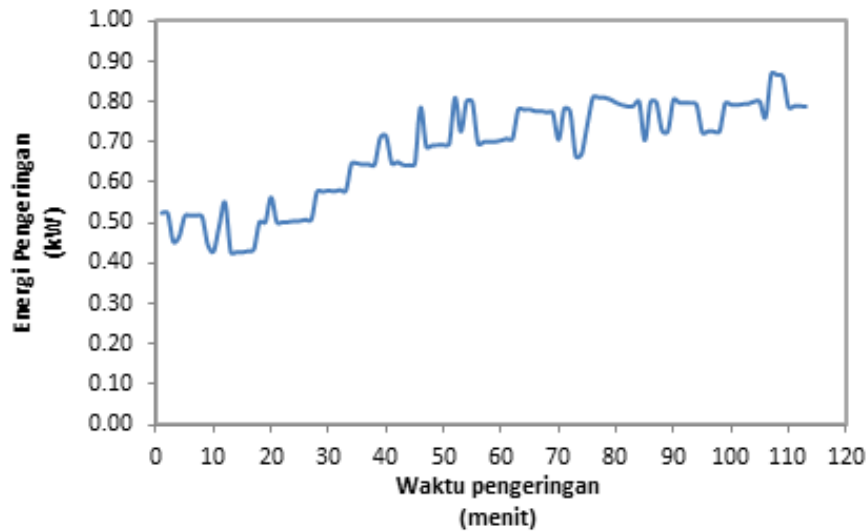
Gambar 5. Kurva laju pengeringan

Pada gambar 6 terlihat bahwa penurunan nilai MR terjadi pada periode laju pengeringan menurun (*the falling rate period*).



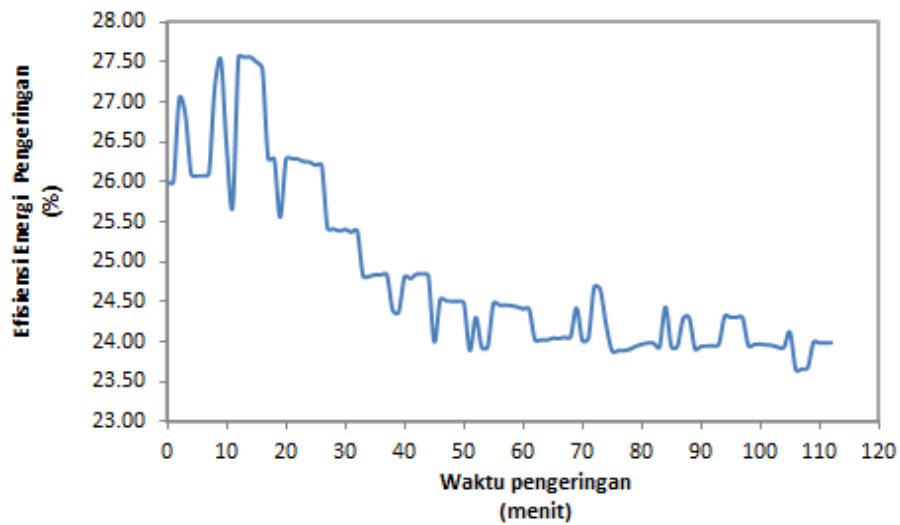
Gambar 6. Kurva penurunan moisture rate

Besar energi pengeringan rata-rata adalah 0,68 kW. Kurva energi pengeringan seperti terlihat pada gambar 7, kurva tersebut memperlihatkan bahwa energi pengeringan terus meningkat.



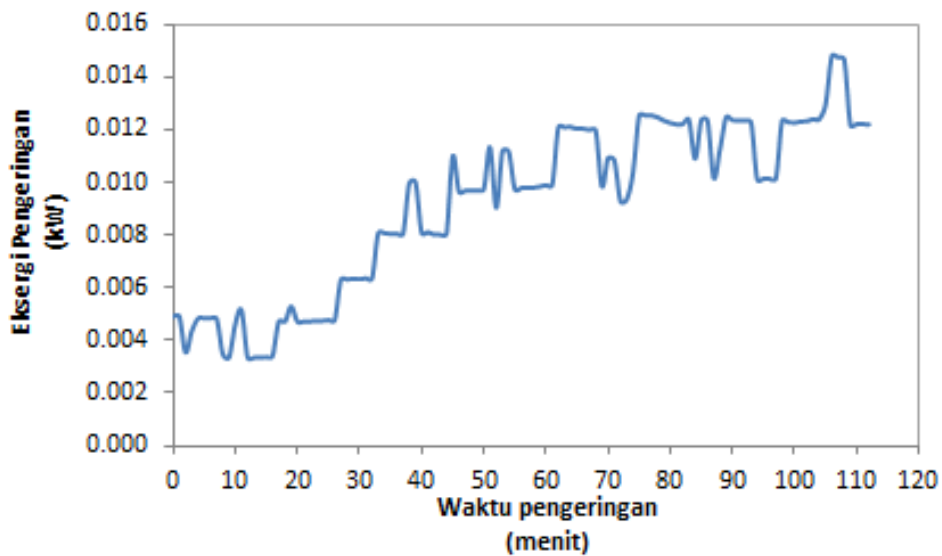
Gambar 7. Kurva energi pengeringan

Kurva efisiensi energi pengeringan terlihat pada gambar 8, dimana pada gambar terlihat bahwa efisiensi energi pengeringan meningkat bersama waktu pengeringan. Efisiensi energi pengeringan rata-rata sebesar 24,83%.



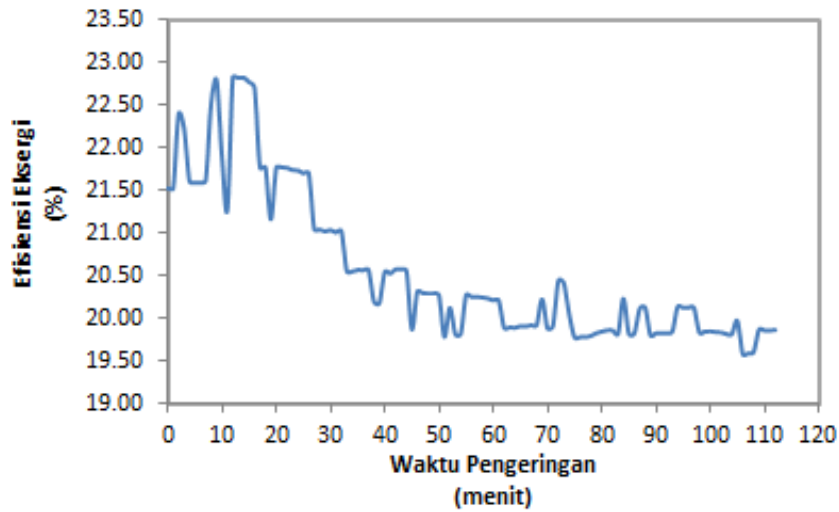
Gambar 8. Kurva Efisiensi pengeringan

Nilai Eksergi pengeringan diperlihatkan seperti pada gambar 9, dimana pada gambar tersebut terlihat kurva eksergi pengeringan yang meningkat bersama waktu pengeringan. Besar eksergi pengeringan rata-rata adalah 0,009 kW (9 W).



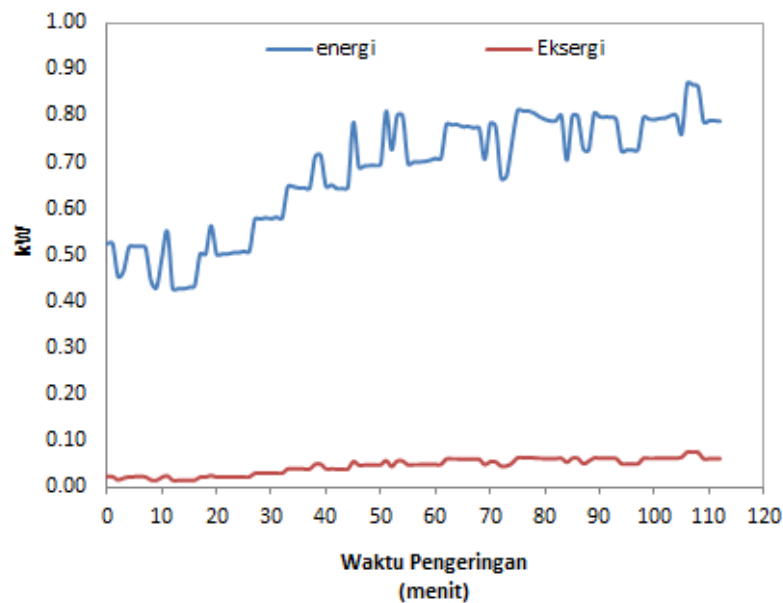
Gambar 9. Kurva eksergi pengeringan

Kurva efisiensi eksergi pengeringan diperlihatkan seperti pada gambar 10. Pada gambar tersebut terlihat bahwa efisiensi pengeringan menurun seiring dengan waktu pengeringan. Besar efisiensi eksergi pengeringan rata-rata adalah 20,56%.



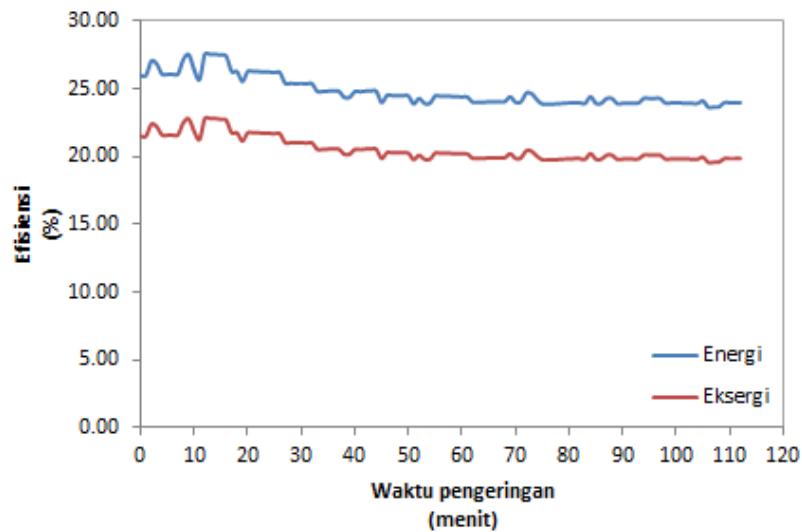
Gambar 10. Kurva Efisiensi eksergi pengeringan

Perbandingan nilai energi dan eksergi pengeringan diperlihatkan pada gambar 11. Pada gambar tersebut terlihat energi pengeringan lebih besar dari eksergi pengeringan.



Gambar 11. Kurva perbandingan energi dan eksergi pengeringan

Sedangkan perbandingan efisiensi energi dan eksergi pengeringan diperlihatkan pada gambar 12. Pada gambar tersebut terlihat bahwa bentuk kurva efisiensi identik, hanya berbeda pada besarnya saja.



Gambar 12. Kurva perbandingan efisiensi energi dan eksergi pengeringan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa laju pengeringan (*drying rate*) adalah sebesar 3,74 gr/menit, besar energi pengeringan rata-rata adalah 0,68 kW; sedangkan besar eksergi pengeringan rata-rata adalah 0,009 kW, dan besar efisiensi energi pengeringan adalah 24,83%, sedang besar efisiensi eksergi pengeringan adalah 20,56%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini peneliti berterimakasih kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini khususnya kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) atas dana hibah untuk penelitian ini dalam katogeri penelitian dosen pemula Tahun anggaran 2015 sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A., Tsatsaronis, G., & Moran, M. (1996). *Thermal Design & Optimization*. New York: John Wiley & Sons.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Thermodynamis: An Engineering Approach, 4th ed.* New York: McGraw-Hill.
- Ceylan, I. (2009). Energy Analysis of Pid Controlled Heat Pump Dryer. *Engineering*, 188-195.
- Ceylan, I., Aktas, M., & Dog˘an, H. (2007). Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump. *Applied Thermal Engineering*, 216–222.
- Dincer, I., & Sahin, A. Z. (2004). A New Model for Thermodynamic Analysis of a Drying Process. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 645–652.
- Hepbasli, A. (2008). A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 593–661.
- Hermawan, I., & Idris, I. (2014). Kajian Potensi Energi Panas Buangan dari *Air Conditioner* (AC). *Teknovasi*, 1-10.
- Kiang, C. S., & Jon, C. K. (2006). Heat Pump Drying Systems. In A. S. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying 3th ed* (pp. 1104-1130). Taylor & Francis Group, LLC.
- Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press.
- Tambunan, A. H., Kamaruddin, A., & Nababan, B. (2006). Analisis Eksergi Penyimpanan Panas untuk Sistem Pengering Berenergi Surya. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 235-242.