



## Analisis eksergi pengering tipe bak untuk pengeringan simplisia herbal

Hendri Syah \*

*Teknik Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia*

### Article history

*Diterima:*

23 Januari 2022

*Diperbaiki:*

11 April 2022

*Disetujui:*

25 April 2022

### Keyword

*Destruction exergy;*

*Exergy efficiency;*

*Herb drying;*

*Packed bed dryer*

### ABSTRACT

*The drying of herb in packed bed is a complex process that involves the simultaneous heat and mass transfer between the air and product. Thermodynamic analysis particularly exergy analysis to be an essential tool for evaluates the avaiable energy at different point in a drying system and provides the useful information for redesign. The objective of this study are determined destruction exergy and efficiency exergy of packed bed dryer for herb drying. A packed bed dryer used for drying experiments. This apparatus that has been prepared with the PID temperature control system. The drying experiments were conducted at different three sample height in bed of 10 cm, 20 cm, and 30 cm. Air velocity that is used varied 0.4 m/s and 0.6 m/s. The result showed air temperature in bed decreases with distance because more heat is being transfered to the herb by increasing the distance from inlet of the bed. The highest average destruction exergy was 15,015 kJ/s at air velocity 0,6 m/s and sample height 30 cm. The lowest value of average exergy efficiency was 23,59% ..at air velocity 0,6 m/s and sample height 10 cm. It was concluded that exergy efficiency decreased with increasing air velocity.*



*This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

\* Penulis korespondensi

Email : hendri.syah@unsyiah.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v17i1.13438

## PENDAHULUAN

Proses pengeringan merupakan proses yang krusial dalam tahapan pembuatan sediaan obat herbal, karena ada dua aspek yang harus dipertimbangkan yaitu mutu simplisia yang dihasilkan masih memiliki zat aktif (senyawa fitokimia) sebagai syarat sebagai sediaan obat herbal dan kebutuhan energi pengeringan. Salah satu pengering konvektif dengan media udara panas adalah pengering tipe bak (*packed bed drying*). Pengering jenis ini memungkinkan bahan dikeringkan dalam kapasitas yang besar. Pengeringan merupakan salah satu teknologi pemisahan yang paling intensif energi (Dincer dan Zamrescu, 2016). Pada pengeringan tipe bak, energi dibutuhkan untuk mengalirkan udara panas melewati lapisan-lapisan bahan di dalam bak. Persentase konsumsi energi termal dan mekanik pada pengering tipe bak masing-masing adalah 94,48 % dan 5,52 % (Tohidi *et al.*, 2017). Ada beberapa simplisia berbentuk daun selain biji-bijian dan rimpang. Secara umum, pengering tipe bak digunakan untuk mengeringkan biji-bijian. Pada penelitian ini pengering tipe bak digunakan untuk mengeringkan simplisia daun. Beberapa penelitian lainnya juga menggunakan pengering tipe bak untuk mengeringkan simplisia daun yaitu daun mate (Zanoelo *et al.*, 2007), daun adas sowa (*dill*) dan mint (Motevali dan Amiri Chayjan, 2017), serta daun lemon balm (Shamekhi-Amiri *et al.*, 2018).

Selama ini permasalahan dalam proses pengeringan adalah inefisiensi. Analisis efisiensi energi menggunakan teori hukum termodinamika pertama yang menjelaskan bahwa semua energi yang masuk akan terkonversi menjadi bentuk lain (Akbulut dan Durmuş, 2010), akan tetapi teori ini memiliki keterbatasan karena tidak menjelaskan irreversibilitas akibat adanya pembentukan entropi sehingga kaidah hukum termodinamika kedua dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan daya mampu energi yang dikenal dengan eksergi atau energi sedia untuk dimanfaatkan. Kaidah hukum termodinamika II menyatakan bahwa setiap proses riil berlangsung secara *irreversible* (ketakmampuan balik). Melalui kaidah tersebut dapat diketahui terjadinya perubahan kualitas energi, yang diukur dengan parameter eksergi. Eksergi merupakan ukuran deviasi status sistem dari status lingkungan (Bejan, 2002).

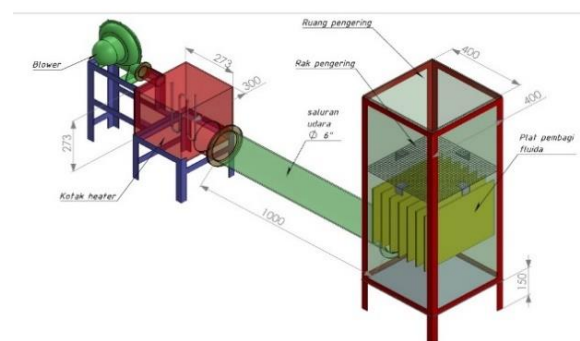
Penggunaan energi dalam suatu proses akan selalu menyebabkan penurunan kualitas, atau dengan kata lain terjadinya penurunan eksergi sebagai akibat dari ketidakmampu-balik (*irreversible*) proses. Irreversibilitas pada sistem pengering tipe bak dapat disebabkan oleh proses perpindahan panas dan gesekan fluida udara pengering dengan tumpukan bahan selama proses pengeringan berlangsung. Analisis eksergi merupakan instrumen yang lebih membantu untuk mencapai pemanfaatan sumber energi yang efektif karena memberikan perspektif proses yang lebih praktis (Karthikeyan dan Murugavelh, 2018).

Tujuan penelitian ini adalah menentukan eksergi destruktif (eksergi musnah) dan efisiensi eksergi pada pengering tipe bak untuk pengeringan simplisia daun

## METODE

Peralatan yang digunakan adalah apparatus pengering tipe bak (*packed bed dryer*) skala laboratorium yang skemanya dapat dilihat pada Gambar 1. Peralatan penunjang penelitian adalah oven, timbangan digital merek *Excellent* (kapasitas 300 g akurasi 0,01 g), recorder, termokopel tipe T, termometer, manometer gelas, dan anemometer merek AM-4200.

Bahan yang digunakan adalah daun jati belanda segar. Kadar air awal simplisia segar diukur dengan menggunakan metode gravimetri.



Gambar 1 Skema pengering tipe bak

Pengering tipe bak skala laboratorium dapat dilihat pada Gambar 2, Alat ini dilengkapi dengan sistem kontrol PID untuk mengendalikan suhu udara yang masuk ke dalam ruang pengering (*bed*), dimana sistem kendali suhu ini dilengkapi dengan termostat merek Emko, termokopel tipe K, dan relay SSR 40-DA. Alat ini dilengkapi *heater* 3000 Watt dan kipas sentrifugal yang dilengkapi

*dimmer* untuk pengaturan putaran poros kipas sehingga diperoleh kecepatan aliran udara yang berbeda-beda sesuai dengan kecepatan udara yang diinginkan di inlet. Pada alat ini posisi bak berada di atas plenum dan sirip pengarah aliran udara, sehingga memungkinkan bak dapat dikeluarkan atau dipisah dari pengering utama untuk keperluan *loading* bahan. Bagian dalam bak/*bed* sudah beri tanda untuk menunjukkan ketinggian simplisia. Bak/*bed* juga telah terpasang termokopel pada ketinggian tertentu dimana bagian sensor termokopel berada di tengah bak.



Gambar 2 Pengering tipe bak skala laboratorium.

Pengoperasian pengering dimulai *setting* suhu pada panel kontrol suhu 45 °C, selanjutnya kipas sentrifugal dioperasikan dengan posisi tuning atau lingkaran penala pada *dimmer* untuk kecepatan udara yang diinginkan. Pengeringan dimulai setelah suhu udara di plenum konstan. Sebelumnya berat awal simplisia segar ditimbang sebelum dimasukkan pada *bed* yang telah diketahui volumenya untuk menentukan densitas curah simplisia segar. Setelah simplisia dimasukkan ke dalam bak dengan ketinggian (*h*) tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 3, dimasukkan pada pengering utama.

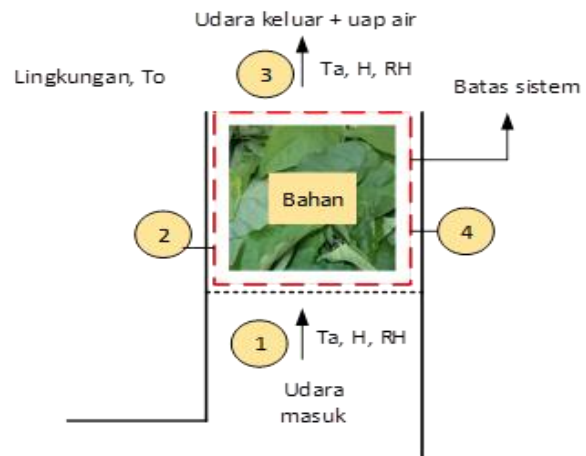


Gambar 3 *Bed* yang berisi simplisia daun segar

Pengeringan simplisia daun pada pengering tipe bak terdiri dari tiga percobaan berdasarkan

tinggi tumpukan simplisia daun di dalam bak (*h*) yaitu 10, 20, dan 30cm dimana masing-masing percobaan diatur kecepatan aliran udara di inlet yaitu 0,4m/s, 0,5m/s dan 0,6m/s. Kecepatan udara di *inlet* dikontrol menggunakan anemometer selama proses pengeringan berlangsung secara manual. Lama pengeringan (*t*) untuk setiap percobaan sama yaitu 270 menit Titik pengukuran suhu udara di dalam bak untuk masing-masing percobaan sebagai berikut; percobaan *h* 10cm yaitu layer 5cm dan 10cm, percobaan *h* 20cm yaitu layer 5cm, 10cm, 15cm dan 20cm, serta percobaan *h* 30 cm yaitu layer 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm dan 30cm. suhu bola basah dan kering diukur di *outlet* untuk menentukan RH udara. Data-data ini dicatat dalam selang waktu ( $\Delta t$ ) 10 menit. Sampel simplisia setiap layer pada masing-masing percobaan diukur kadar air akhirnya menggunakan metode *oven*

Analisis eksergi diawali dengan membuat sistem pengeringan yang akan dikaji serta batas sistemnya. Sistem volume kendali pada pengering ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Sistem volume kendali pengeringan simplisia daun.

Tingkat keadaan atau *state* pada sistem ditulis dengan angka 1 sampai 4, tingkat keadaan 1 dan 3 menjelaskan masing – masing udara yang masuk dan keluar pada sistem volume kendali untuk mengeringkan simplisia daun jati belanda dari waktu *t* ke *t* +  $\Delta t$ . Tingkat keadaan 2 dan 4 berkaitan dengan padatan dan air di dalam simplisia yang dari waktu *t* ke *t* +  $\Delta t$ . Pada penelitian ini kondisi mati (*dead state*) yang digunakan adalah suhu udara lingkungan ( $T_o = 30^{\circ}C$ ) dan tekanan udara 1 atm.

### Keseimbangan massa

Persamaan keseimbangan massa yang digunakan terdiri dari persamaan laju padatan dari produk kering, laju aliran udara, dan laju aliran air atau uap air. Persamaan persamaan tersebut dijabarkan sebagai berikut (Mugi dan Chandramohan, 2021 ; Şevik *et al.*, 2019).

- Padatan dalam bahan

$$\dot{m}_{p2} = \dot{m}_{p4} = \dot{m}_p \quad (1)$$

- Udara

$$\dot{m}_{u1} = \dot{m}_{u3} = \dot{m}_u \quad (2)$$

- Air dalam bahan dan udara

$$H_1 \dot{m}_u + \dot{m}_{a2} = H_3 \dot{m}_u + \dot{m}_{a4} \quad (3)$$

### Keseimbangan energi

Keseimbangan energi didasarkan pada energi yang masuk ke dalam sistem volume kontrol sama dengan energi yang keluar dari sistem. Persamaan keseimbangan energi dapat dilihat pada Persamaan 5

$$\begin{aligned} \dot{m}_u h_{u1} + \dot{m}_p h_{p2} + \dot{m}_{a2} h_{a2} \\ = \dot{m}_u h_{u3} + \dot{m}_p h_{p4} \\ + \dot{m}_{a4} h_{a4} + \dot{Q}_l \end{aligned} \quad (4)$$

### Keseimbangan eksergi

Persamaan keseimbangan eksergi digunakan untuk ruang pengering adalah sebagai berikut. Selisih antara eksergi masuk dengan keluar adalah besaran eksergi musnah (Manalu dan Tambunan, 2016).

$$\sum \dot{E}_{in} - \sum \dot{E}_o = \sum \dot{E}_d \quad (5)$$

Persamaan keseimbangan eksergi pada kondisi stedi dapat dilihat pada persamaan keseimbangan eksergi spesifik (Dincer dan Sahin, 2004).

$$\begin{aligned} \dot{m}_u e_{u1} + \dot{m}_p e_{p2} + \dot{m}_{a2} e_{a2} \\ = \dot{m}_u e_{u3} + \dot{m}_p e_{p4} \\ + \dot{m}_{a4} e_{a4} + \dot{E}_q + \dot{E}_d \end{aligned} \quad (6)$$

Eksergi spesifik udara yang mengalir masuk ke sistem volume kontrol (titik 1) dan keluar sistem (titik3) masing-masing dapat menggunakan Persamaan 8 dan 9 (Beigi *et al.*, 2017).

$$e_{u1} = (c_{pu} + H_1 c_{pv}) \left( T_1 - T_0 - T_0 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} + R_a T_0 \left\{ (1 \right. \\ \left. + 1,608 H_1) \ln \left( \frac{1 + 1,608 H_0}{1 + 1,608 H_1} \right) \right. \\ \left. + 1,608 H_1 \ln \left( \frac{H_1}{H_0} \right) \right\} \end{aligned}$$

$$e_{u3} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} = (c_{pu} + H_3 c_{pv}) \left( T_3 - T_0 - T_0 \ln \frac{T_3}{T_0} \right) \\ + R_a T_0 \left\{ (1 + 1,608 H_3) \ln \left( \frac{1 + 1,608 H_0}{1 + 1,608 H_3} \right) \right. \\ \left. + 1,608 H_3 \ln \left( \frac{H_3}{H_0} \right) \right\} \end{aligned}$$

Eksergi *inflow* merupakan eksergi yang masuk ke dalam sistem berupa penjumlahan dari laju eksergi padatan produk, laju eksergi air yang terkandung di dalam produk, dan eksergi udara pengering. Pada Gambar 4, yang termasuk ke dalam perhitungan eksergi *inflow* berada pada tingkat keadaan 1 dan 2. Laju perpindahan eksergi yang menyertai proses penguapan di dalam ruang pengering dapat dilihat pada Persamaan 10.

$$\dot{E}_{ev} = \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T} \right) \right] \cdot \dot{Q}_{ev} \quad (9)$$

Energi yang digunakan untuk menguapkan air dari bahan dapat dilihat pada Persamaan 11 (Beigi *et al.*, 2017).

$$\dot{Q}_{ev} = \dot{m}_w h_{fg} \quad (10)$$

Panas laten penguapan daun jati belanda (Syah *et al.* 2021).

$$\begin{aligned} h_{fg} = 4,975 \cdot 10^3 \cdot M^{(0,245-0,018 \cdot T)} \\ + 36,442 T \end{aligned} \quad (11)$$

Efisiensi eksergi untuk proses pengeringan adalah perbandingan antara eksergi untuk proses penguapan dengan eksergi yang masuk ke dalam sistem (Amantéa *et al.*, 2014). Persamaan efisiensi eksergi pengeringan dapat dilihat pada Persamaan 13 (Beigi *et al.*, 2017).

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_{ev}}{\dot{E}_{in}} \quad (12)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Pengeringan

Distribusi suhu udara di dalam *bed* (bak) pada ketinggian tumpukan daun (h) 20 cm dan 30 cm ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5. Suhu udara pada *layer* 5 cm lebih cepat mendekati suhu

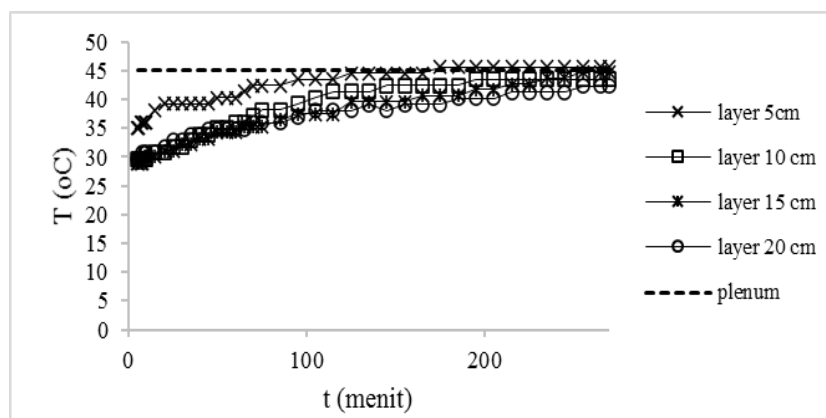
udara di plenum dibandingkan dengan layer di atasnya, hal ini dikarenakan udara panas mengalir dari plenum menuju ke setiap layer daun di dalam bak sehingga *layer* daun yang lebih dekat dasar *bed* lebih cepat menerima udara panas dibandingkan dengan *layer* di atasnya, selain itu densitas curah daun di dalam *bed* diduga dapat mempengaruhi perkolasi udara panas di dalam *bed*. Densitas curah yang rendah atau porositas bahan yang tinggi mengakibatkan udara lebih banyak bersentuhan dengan bahan sehingga lebih banyak perpindahan panas yang terjadi. (Srivastava dan John, 2002).

Ketinggian tumpukan daun h 20 cm yang memiliki densitas curah  $38,53 \text{ kg/m}^3$  lebih seragam suhu udara di dalam *bed* dibandingkan dengan h 30 cm yang memiliki densitas curah  $54,05 \text{ kg/m}^3$ .

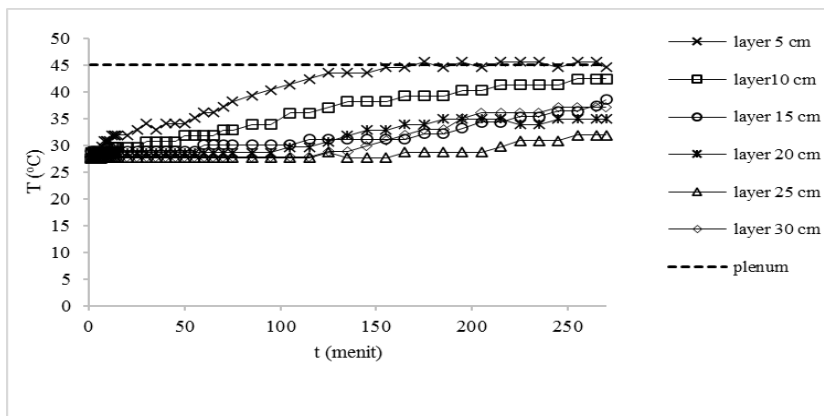
Suhu udara pada awal pengeringan terlihat jelas perbedaan antara *layer* daun bagian bawah dengan *layer* daun bagian atas atau sepanjang arah aliran udara pengering yaitu dari plenum ke *outlet*. Semakin tinggi layer daun di dalam bak, maka semakin berkurang suhu udara pada layer tersebut. Penurunan suhu udara tertinggi terjadi pada awal pengeringan, hal ini menunjukkan bahwa suhu udara pada layer yang paling bawah membutuhkan panas sensibel untuk memanaskan bahan dan panas laten penguapan sehingga suhu udara yang mengalir ke *layer* di atasnya sudah turun sehingga suhu udara pada layer bawah lebih tinggi dibandingkan dengan suhu layer di atasnya. Seiring dengan proses pengeringan, suhu udara pada *layer-layer* yang lebih tinggi akan mencapai suhu pada layer bagian bawah.

Gambar 6 menunjukkan kelembapan relatif udara di *outlet* Pada awal pengeringan lebih tinggi di bandingkan akhir pengeringan pada semua percobaan, hal ini menunjukkan bahwa pada awal pengeringan proses penguapan air dari simplisia yang paling banyak terjadi, diduga air bebas (*free water*) pada simplisia yang berkontribusi dalam menyumbang uap air di outlet pengering. Bahan membutuhkan banyak panas pada awal pengeringan selama kadar air bahan tinggi, air yang terdapat pada permukaan bahan mudah untuk diuapkan dan laju pengeringannya cepat. (Jia *et al.*, 2016) Distribusi RH di *outlet* pada percobaan h 30cm paling tinggi dibandingkan dengan percobaan h 10cm dan 20cm, hal ini berkaitan dengan jumlah simplisia yang dikeringkan di dalam bak/bed. Semakin banyak simplisia yang dikeringkan, semakin besar RH yang dihasilkan di *outlet*.

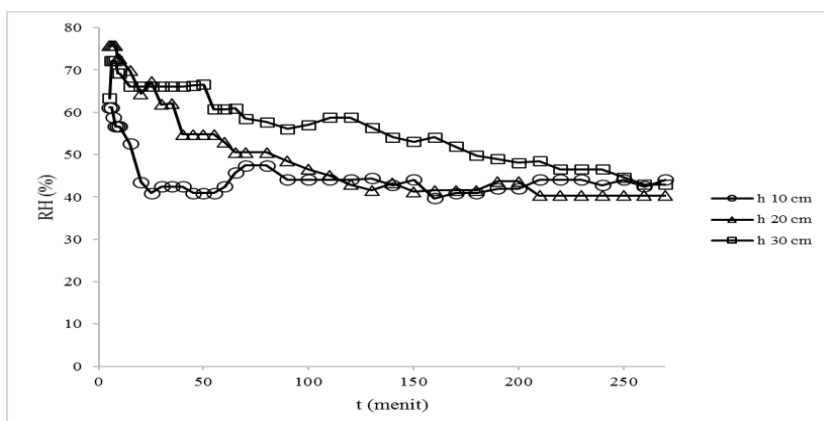
Kadar air akhir simplisia yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7. Pada percobaan h 10 cm dan 20 cm, kadar air yang paling rendah diperoleh pada *layer* dasar (0 cm) dan *layer* 5 cm. Pada Gambar 7 juga terlihat bahwa percobaan h 10 cm menghasilkan kadar air akhir simplisia yang lebih seragam dibandingkan dengan percobaan 20 cm. Permasalahan utama dari pengering tipe bak adalah perkolasi udara panas yang melewati tumpukan bahan tidak merata sehingga proses pengeringan pada layer tengah kurang maksimal sehingga kadar air akhir simplisia pada *layer* 15 cm pada percobaan h 20 cm lebih tinggi dibandingkan *layer* yang lainnya.



Gambar 4 Distribusi suhu h 20 cm



Gambar 5 Distribusi suhu h 30 cm



Gambar 6 RH outlet semua percobaan

**Analisis Eksergi**

Berbeda dengan energi, eksergi dikonsumsi karena irreversibilitas di dalam proses pengeringan. Eksergi yang masuk sistem terdiri dari eksergi laju aliran udara pengering, eksergi yang terkandung dalam padatan, dan air di dalam simplisia. Selisih antara eksergi *outflow* dan *inflow* dikenal dengan eksergi yang dikonsumsi atau destruktif. Untuk memperkecil ireversibilitas suatu sistem pengeringan, maka selisih kedua jenis eksergi ini harus seminimal mungkin (Manalu dan Tambunan, 2016). Laju eksergi destruktif rata-rata pada semua percobaan dapat dilihat pada Gambar 8. Pada kecepatan udara 0,6 m/s pada semua percobaan menghasilkan eksergi destruktif yang lebih tinggi. Suhu udara dan laju aliran udara yang lebih tinggi meningkatkan laju eksergi destruktif pada pengering tipe bak (Beigi *et al.*, 2017).

Efisiensi eksergi pada kecepatan udara yang paling rendah 0,4 m/s memiliki efisiensi eksergi yang paling tinggi pada semua percobaan. Rata-rata efisiensi eksergi tertinggi pada percobaan h 30 cm dengan kecepatan udara 0,4 m/s sebesar 39,04 % berarti ada rata-rata 60,96 % energi yang

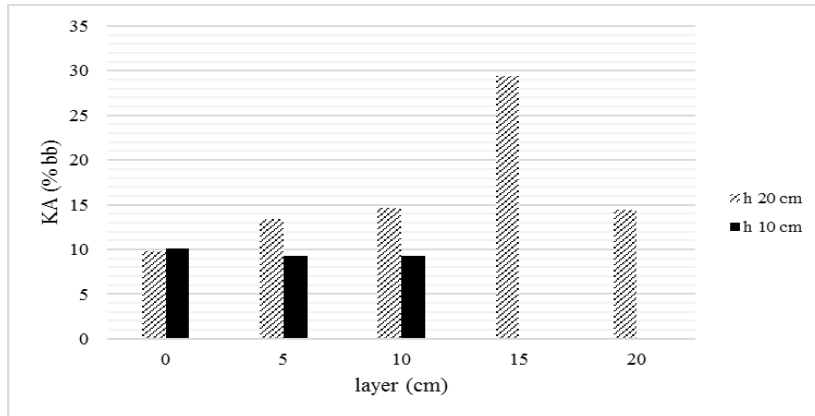
tersedia yang terbuang di pengering. Semakin rendah efisiensi eksergi maka semakin besar energi tersedia yang terbuang. Menurut Dincer dan Sahin (2004) peningkatan laju aliran massa udara akan menurunkan efisiensi eksergi. Pada pengering tipe bak (*packed bed dryer*), semakin tinggi kecepatan udara, maka semakin menurun efisiensi ekserginya (Amantéa *et al.*, 2014). Sama halnya dengan pengering fluidisasi (*fluidized bed dryer*), Efisiensi eksergi menurun dengan meningkatnya laju aliran massa (Özahi dan Demir, 2013). Berbeda dengan pengering kabinet dengan kolektor surya, semakin meningkat laju aliran udara, semakin tinggi nilai efisiensi ekserginya (Tagnamas *et al.*, 2021). Semakin rendah ketebalan simplisia di dalam *bed*, maka semakin rendah efisiensi ekserginya untuk semua kecepatan aliran udara. Rendahnya kuantitas eksergi yang menyertai proses evaporasi menyebabkan rendahnya efisiensi eksergi (Beigi *et al.*, 2017).

**KESIMPULAN**

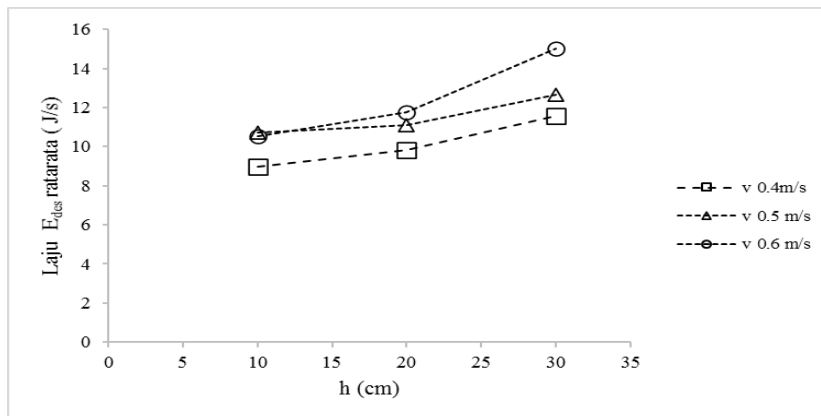
Analisis eksergi sistem volume kendali pada pengering tipe bak untuk pengeringan simplisia

herbal menunjukkan bahwa pengeringan dengan laju aliran udara 0,6 m/s dan ketinggian tumpukan simplisia di dalam bak (h 30 cm) menghasilkan laju eksergi destruktif rata-rata sebesar 15,015 kJ/s, lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan h 10 cm dan h 20 cm, sedangkan efisiensi eksergi rata-rata tertinggi diperoleh pada percobaan h 30

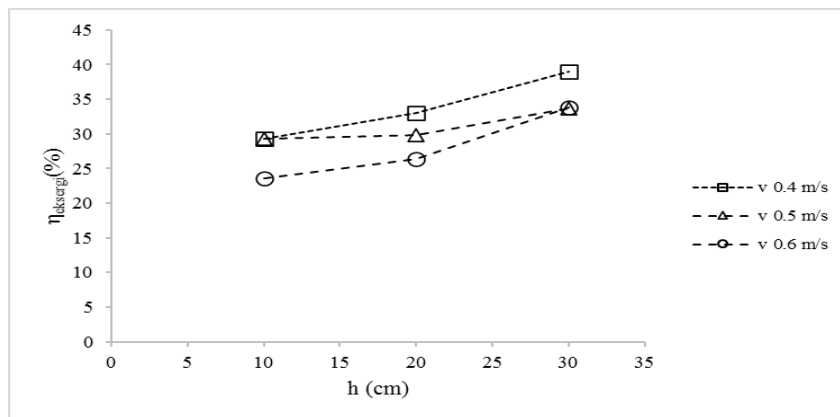
cm dengan laju aliran udara 0,4 m/s. Berdasarkan analisis eksergi, perlakuan yang terbaik adalah pengeringan simplisia daun dengan ketebalan bahan di dalam *bed* sebesar 30 cm dan kecepatan udara 0,4 m/s. selain itu, ketebalan tumpukan simplisia 30 cm, menghasilkan kapasitas bahan yang dikeringkan lebih besar.



Gambar 7 Kadar akhir setiap layer pada percobaan h 10 cm dan h 20 cm



Gambar 8 Laju eksergi destruktif



Gambar 9 Efisiensi eksergi pengeringan



### DAFTAR PUSTAKA

- Akbulut, A., Durmuş, A. 2010. Energy and exergy analyses of thin layer drying of mulberry in a forced solar dryer. *Energy* 35:1754–1763.
- Amantéa, R.P., Fortes, M., Martins, J.H., Santos, G.T. 2014. Energy and Exergy Analysis of Two-dimensional Grain. *International Journal of Energy Sector Management* 8:330–340.
- Beigi, M., Tohidi, M., Torki-Harchegani M. 2017. Exergetic analysis of deep-bed drying of rough rice in a convective dryer. *Energy* 140:374–382.
- Bejan, A. 2002. Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture. *International Journal of Energy Research* 26:0–43.
- Dincer, I., Sahin, A.Z. 2004. A new model for thermodynamic analysis of a drying process. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47:645–652.
- Dincer, I., Zamrescu, C. 2016. *Drying Phenomena*. first. John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex UK.
- Jia, C., Wang, L., Guo, W., Liu, C. 2016. Effect of swing temperature and alternating airflow on drying uniformity in deep-bed wheat drying. *Applied Thermal Engineering* 106:774–783.
- Karthikeyan, A.K., Murugavelh, S. 2018. Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy* 128:305–312.
- Manalu, L.P., Tambunan, A.H. 2016. Analisis Eksergi Pengeringan Irisan Temulawak. *Jurnal Agritech* 36:96.
- Motevali, A., Amiri, C.R. 2017. Effect of various drying bed on thermodynamic characteristics. *Case Studies in Thermal Engineering* 10:399–406.
- Özahi, E., Demir, H.I. 2013. A model for the thermodynamic analysis in a batch type fluidized bed dryer. *Energy* 59:617–624.
- Reddy, M.V., Chandramohan, V.P. 2021. Energy, exergy and economic analysis of an indirect type solar dryer using green chilli: A comparative assessment of forced and natural convection. *Thermal Science and Engineering Progress* 24:100950.
- Şevik, S., Aktaş, M., Dolgun, E.C., Arslan, E., Tuncer, A.D. 2019. Performance analysis of solar and solar-infrared dryer of mint and apple slices using energy-exergy methodology. *Solar Energy* 180:537–549.
- Shamekhi-Amiri, S., Gorji, T.B.M., Gorji, B., Jahanshahi, M. 2018. Drying behaviour of lemon balm leaves in an indirect double-pass packed bed forced convection solar dryer system. *Case Studies in Thermal Engineering* 12:677–686.
- Srivastava, V.K., John, J. 2002. Deep bed grain drying modeling. *Energy Conversion and Management* 43:1689–1708.
- Syah, H., Hartulistiyoso, E., Manalu, L., Tambunan, H.A. 2021. Latent Heat of Vaporization of JatiBelanda (*Guazumaulmifolia*) Leaves EdyHartulistiyoso. *International Journal of Multidisciplinary and Current Educational Research (IJM CER)* 3:148–155.
- Taghnamas, Z., Lamsyehe, H., Moussaoui, H., Bahammou, Y., Kouhila, M., Idlimam, A., Lamharrar, A. 2021. Energy and exergy analyses of carob pulp drying system based on a solar collector. *Renewable Energy* 163:495–503.
- Tohidi, M., Sadeghi, M., Torki-Harchegani, M.M. 2017. Energy and quality aspects for fixed deep bed drying of paddy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70:519–528.
- Zanoelo, E.F., di Celso, G.M., Kaskantzis, G. 2007. Drying Kinetics of Mate Leaves in a Packed Bed Dryer. *Biosystems Engineering* 96:487–494.

### GLOSARIUM

Subkrip 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan *state*

$\dot{m}_p$  = laju aliran massa padatan (kg/s)

$\dot{m}_u$  = laju aliran massa udara (kg/s)

$\dot{m}_a$  = laju aliran massa air (kg/s)

H = kelembaban mutlak udara (kg air/kg uk)

$h_u$  = entalpi udara (kJ/kg)

$h_p$  = entalpi padatan (kJ/kg)

$h_a$  = entalpi air (kJ/kg)

$\dot{Q}_l$  = laju kehilangan (*loss*) panas (kJ/s)

$\dot{E}_{in}$  = laju eksergi *inflow* (kJ/s)

$\dot{E}_o$  = laju eksergi *outflow* (kJ/s)

$\dot{E}_d$  = laju eksergi destruktif (kJ/s)

$e_u$  = eksergi spesifik udara (kJ/kg)

$e_p$  = eksergi spesifik padatan (kJ/kg)

$e_a$  = eksergi spesifik air (kJ/kg)



<p><math>\dot{E}_q</math> = laju eksergi yang menyertai perpindahan panas (kJ/s) <math>\dot{E}_d</math> = laju eksergi destruktif (kJ/s) <math>c_p</math> = panas jenis (kJ/kgK) <math>T</math> = suhu udara (K) <math>T_0</math> = suhu <i>deadstate</i> (K) <math>R_a</math> = konstanta gas (kJ/kgK) <math>H_0</math> = kelembapan mutlak udara lingkungan (kg air/kg uk) <math>\dot{E}_{ev}</math> = laju eksergi yang menyertai proses evaporasi (kJ/s) <math>T_0</math> = suhu <i>deadstate</i> (K) <math>T</math> = suhu udara (K) <math>\dot{Q}_{ev}</math> = laju perpindahan energi evaporasi (kJ/s) <math>\dot{m}_w</math> = laju aliran massa uap air (kg/s) <math>h_{fg}</math> = panas laten penguapan simplisia (kJ/kg) <math>h_{fg}</math> = panas laten penguapan simplisia (kJ/kg) <math>M</math> = kadar air simplisia (% bk) <math>T</math> = suhu udara pengeringan (K) <math>\eta_{ex}</math> = efisiensi eksergi pengeringan</p>
---