



Analisis Energi dan Eksergi pada Pengeringan Tepung Tapioka Menggunakan Pengering Kontinu Unggun Fluidisasi Getar

Suherman^{*)} dan Rona Trisnaningtyas

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Telp./Fax. (024)7460058 / (024)76480675

^{*)}Penulis korespondensi : hermancrb@gmail.com

Abstract

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF CASSAVA STARCH DRYING USE CONTINUOUS VIBRATED FLUIDIZED BED DRYER. *Energy and exergy analysis of cassava starch drying in continuous vibrated fluidized bed dryer were carried out to assess the performance of the system in terms of energy utilization ratio, energy efficiency, exergy inflow and outflow, exergy loss, and exergetic efficiency. The results showed cassava starch has starch content 87%, degree of whiteness 95%, negative fiber content, spherical granula with average diameter 12.32 μm , orthorhombic crystal structure and crystal size 47.467 nm. Energy utilization and energy utilization ratio increased from 0.08 to 0.20 J/s and 0.35 to 0.4 as the drying temperature increased from 50 to 70°C. Energy efficiency increased from 13.80 to 23.31%, while exergy inflow, outflow, and losses increased from 4.701 to 14.678, 2.277 to 6.344, and 2.424 to 8.334 J/s respectively in the above temperature range. Exergetic efficiency decreased with increase in drying air temperature, while exergetic improvement potential increased with increased drying air temperature.*

Keywords: *cassava starch; continuous drying; energy and exergy analysis; vibrated fluidized bed*

Abstrak

Analisis energi dan eksergi pengeringan pati tapioka menggunakan pengering kontinu unggun fluidisasi getar, telah dilakukan untuk menilai kinerja sistem dalam bentuk utilisasi energi, efisiensi energi, eksergi masuk dan keluar, eksergi hilang dan efisiensi eksergi. Hasil analisis pati memiliki kandungan starch 87%, tingkat keputihan 95%, kandungan serat negatif, bentuk partikel granular spherical dengan diameter 12,32 μm , struktur kristal orthorhombic dan ukuran kristal sebesar 47,467 nm. Peningkatan suhu pengering dari 50 menjadi 70°C akan meningkatkan utilisasi energi dan rasio utilisasi energi dari 0,08 menjadi 0,20 J/s dan 0,35 menjadi 0,4. Efisiensi energi meningkat dari 13,80 hingga 23,31%, sedangkan eksergi masuk dan keluar, eksergi hilang meningkat dari 4,701 menjadi 14,678, 2,277 menjadi 6,344, dan 2,424 menjadi 8,334 J/s. Efisiensi eksergi menurun dengan naiknya suhu sedangkan potensi pengembangan eksergi meningkat dengan naiknya suhu.

Kata kunci: *pati tapioka; pengeringan kontinu; analisis energi dan eksergi; unggun fluidisasi getar*

How to Cite This Article: Suherman dan Trisnaningtyas, R., (2016), Analisis Energi dan Eksergi pada Pengeringan Tepung Tapioka Menggunakan Pengering Kontinu Unggun Fluidisasi Getar, Reaktor, 16(1), 24-31, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.1.24-31>

PENDAHULUAN

Singkong merupakan salah satu produk pertanian andalan Indonesia dan menempati posisi empat dunia, dengan kapasitas sekitar 22 juta ton tiap tahun. Singkong memiliki nilai gizi dan ekonomis tinggi, dengan *yield* karbohidrat 40% lebih besar dibandingkan padi dan 20% lebih tinggi dibandingkan dengan jagung (Tonukari, 2004). Salah satu produk turunan dari singkong adalah tepung tapioka atau pati singkong (*cassava starch*) (Tonukari, 2004). Pati singkong ($C_6H_{10}O_5$)_x tersusun atas dua jenis molekul, yaitu molekul linier amilosa (20-30%) dan molekul bercabang amilopektin (70-80%). Kedua molekul tersebut membentuk dua daerah yaitu daerah kristalin dan daerah amorf. Daerah kristalin lebih banyak dibentuk oleh molekul amilopektin, sedangkan daerah kristalin lebih banyak dibentuk oleh molekul amilosa. Tepung tapioka banyak digunakan dalam industri makanan, kosmetik, farmasi, minyak, dan industri kimia. Dalam industri pangan, tapioka sering diolah menjadi sirup glukosa dan dekstrin yang diperlukan dalam industri kembang gula, industri pengalengan buah, pengolahan es krim, minuman, dan industri peragian. Tapioka digunakan sebagai bahan pengental, pengisi, dan bahan pengikat dalam industri pangan. Tapioka juga dapat digunakan sebagai bahan baku pewarna alami dalam industri pangan dan tekstil. Polimer dari pati tapioka dapat menjadi bahan pengemasan hasil pertanian.

Tapioka merupakan pati singkong yang diekstraksi dari parutan singkong menggunakan air. Cairan hasil ekstraksi kemudian diendapkan beberapa jam hingga terbentuk endapan pati. Bagian cairan di atas endapan kemudian dibuang. Endapan pati ini mengandung kadar air sekitar 40% (basis basah). Kondisi pati basah ini tidak bisa disimpan dalam waktu lama karena keberadaan air mengakibatkan aktivitas mikroba tinggi. Menurut standar mutu SNI 01-3729-1995, kadar air maksimal dalam tapioka adalah 13%. Oleh sebab itu perlu adanya proses pengeringan.

Pengeringan menggunakan getar merupakan salah satu jenis hasil pengembangan pengeringan menggunakan fluidisasi yang dilengkapi unit penggetar dan berfungsi untuk membantu pemecahan gumpalan bahan yang dikeringkan. Pengering ini cocok untuk tepung tapioka karena tepung tapioka termasuk material Geldart Group C (kohesif), yakni mudah membentuk gumpalan. Simulasi pengeringan menggunakan unit penggetar bubuk Geldart Group C pernah dilakukan oleh Venkatesh dkk. (1998) dan Stacic dan Urosevic (2011). Pengeringan menggunakan unit penggetar pernah digunakan untuk mengeringkan bubuk zeolite (Ocal, 2013), batu bara halus (Yang dkk., 2013), dan batu bara muda (Zhao dkk., 2015).

Pengeringan adalah suatu proses penguapan kadar air dalam bahan yang melibatkan perpindahan panas dan masa antara permukaan produk dan lingkungan (Aghbashlo dkk., 2008; Midilli dan Kucuk,

2003; Aviara dkk., 2014). Proses pengeringan membutuhkan jumlah energi yang besar untuk menguapkan air. Hal ini menjadi tantangan utama bagi industri pengeringan untuk melakukan efisiensi energi dengan tetap mempertahankan kualitas produk. Analisis termodinamika yang terdiri dari analisis energi dan eksergi merupakan analisis penting yang digunakan untuk mengevaluasi dan menginvestigasi ketersediaan energi dalam sistem, energi yang dibutuhkan dari energi yang dihasilkan, dan mendeteksi kehilangan energi (Dincer dan Sahin, 2004; Corzo dkk., 2008, Fudholi dkk., 2014; Sarker dkk., 2015).

Analisis energi berdasarkan pada hukum termodinamika pertama. Hukum termodinamika pertama menganggap bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan sehingga semua energi yang masuk akan terkonversi menjadi bentuk energi lain. Energi merupakan besaran maksimum tanpa memperhatikan friksi sehingga dapat disebut juga jumlah energi absolut. Analisis energi ini bertujuan untuk mengestimasi rasio penggunaan energi dan besar energi yang dihasilkan (Akbulut dan Durmus, 2010). Analisis eksergi bertujuan untuk menentukan kehilangan energi selama proses pengeringan menggunakan prinsip konservasi masa dan energi dengan hukum kedua termodinamika. Hukum kedua termodinamika ini menganggap bahwa sebuah energi bersifat tidak dapat kembali dengan terbentuknya entropi. Eksergi merupakan kerja maksimum yang diperoleh sebagai interaksi sistem terhadap perpindahan panas yang terjadi dengan lingkungan.

Beberapa peneliti telah melakukan analisis energi dan eksergi pada pengeringan produk pertanian dan produk makanan antara lain pengeringan tanaman telur (Akpinar, 2005), pengeringan kentang (Akpinar, 2005; Aghbashlo dkk., 2008), pengeringan zaitun hijau (Colak dan Hepbasli, 2007), pengeringan kelapa sawit coroba (Corzo dkk., 2008), pengeringan wortel (Aghbashlo dkk., 2009; Nazghelici dkk., 2010), pengeringan Mulberry (Akbulut dan Durmus, 2010), pengeringan kismis (Hepbasli dkk., 2010), pengeringan daun lavender (Karimi dan Raflee, 2011), pengeringan permen (Boukadoum dan Benzaout, 2011), pengeringan buncis dan kacang (Karaguzel dkk., 2012), pengeringan gandum (Assari dkk., 2013), pengeringan rumput laut (Fudholi dkk., 2014), dan pengeringan padi (Sarker dkk., 2015). Informasi tentang analisis energi dan eksergi pada pengeringan makanan sudah banyak dijelaskan, tetapi penggunaan analisis energi dan eksergi pada pengeringan sistem kontinu jarang dilakukan. Analisis energi dan eksergi terhadap pengeringan tapioka pernah dilakukan sebelumnya oleh Aviara dkk. (2014) dengan sistem *batch* menggunakan pengering rak.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja alat pengeringan tapioka dengan cara menghitung analisis energi dan eksergi dari pengeringan kontinu menggunakan fluidisasi getar.

METODE PENELITIAN

Persiapan Sampel

Singkong dikupas dan dibersihkan dari kotoran. Singkong yang sudah bersih diparut dan hasil parutan ditambahkan air. Selanjutnya dilakukan proses ekstraksi pati dari parutan singkong ini dan disaring untuk memisahkan ekstrak dan fibernya. Cairan ekstraksi kemudian didiamkan selama ± 4 jam sehingga terpisahkan bagian endapan dan airnya. Endapan pati diambil, setelah air pada bagian atas dibuang. Endapan pati dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kadar air awal $\pm 21\%$ (GMK-303RS dengan akurasi $\pm 0,1\%$).

Peralatan Pengering

Peralatan utama dalam penelitian ini adalah rancangan alat pengering kontinu unggun fluidisasi getar. Diagram skematik alat pengering ditunjukkan pada Gambar 1. Alat pengering ini dibagi menjadi tiga zona dengan total luas pengering $0,089 \text{ m}^2$. Total panjang pengering $0,59 \text{ m}$, lebar $0,15 \text{ m}$, dan tinggi $0,01 \text{ m}$. Pengering dilengkapi dengan vibrator yang dirancang sendiri dan menempel di bagian bawah alat pengering dan berfungsi memecah gumpalan tapioka. Thermostat TZN4S dipasang pada bagian keluaran pemanas untuk mengatur suhu sesuai variabel. Unggun dibagi dalam 3 zona, dan setiap zona dilengkapi dengan termokopel T4WM dengan jarak dari input $0,12 \text{ m}$; $0,32 \text{ m}$; $0,45 \text{ m}$ untuk mengetahui suhu masing-masing. Udara dialirkan menggunakan blower keong (Merek Vanco Mas Surabaya). Udara keluar pengering dilewatkan ke siklon untuk memisahkan padatan tapioka yang terbawa keatas, dengan diameter siklon $0,55 \text{ m}$.

Prosedur Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan dengan melakukan variasi suhu udara pengering yakni $50, 60$ sampai 70°C . Laju alir umpan padat sebesar 10 g/m dihitung secara manual dan kontinu dengan cara memasukkan sejumlah massa tepung dengan cara ditimbang dan dimasukkan sedikit demi sedikit selama waktu yang telah ditentukan. Laju alir udara konstan

$0,012 \text{ m}^3/\text{s}$ diukur dari hasil pengukuran kecepatan udara di dalam pipa udara pemanas menggunakan anemometer LT AM-4200 dengan luas penampang pipa udara pemanas menggunakan rumus

$$Q = A \cdot v \quad (1)$$

Dimana A adalah luas penampang pipa (m^2) dan v adalah kecepatan udara (m/s).

Sebelum eksperimen dimulai, suhu dan kecepatan udara diatur terlebih dahulu. Setelah menghidupkan blower dan vibrator, kemudian mengatur suhu yang diinginkan. Tunggu beberapa saat hingga udara pengering dari blower mencapai suhu yang diinginkan. Umpan tepung tapioka dimasukkan setelah kondisi alat pengering konstan. Setiap lima menit, kadar air tapioka diukur sepanjang zona pengering tiap jarak $0,1 \text{ m}$. Pengeringan dilakukan selama 1800 s secara kontinu. Kadar air akhir produk diukur setelah tidak ada produk yang keluar dari alat pengering menggunakan GMK-303RS dengan akurasi $\pm 0,1\%$.

Metode Analisis

Analisis energi

Metoda analisis energi dan eksergi mengikuti rumus yang telah diturunkan oleh Aviara dkk. (2014). EU (*Energy utilization*) dapat diketahui dengan mengaplikasikan hukum pertama termodinamika dan terbentuklah persamaan ini :

$$EU = M_a (h_{ai} - h_{ao}) \quad (2)$$

Laju alir massa dapat dihitung menggunakan persamaan :

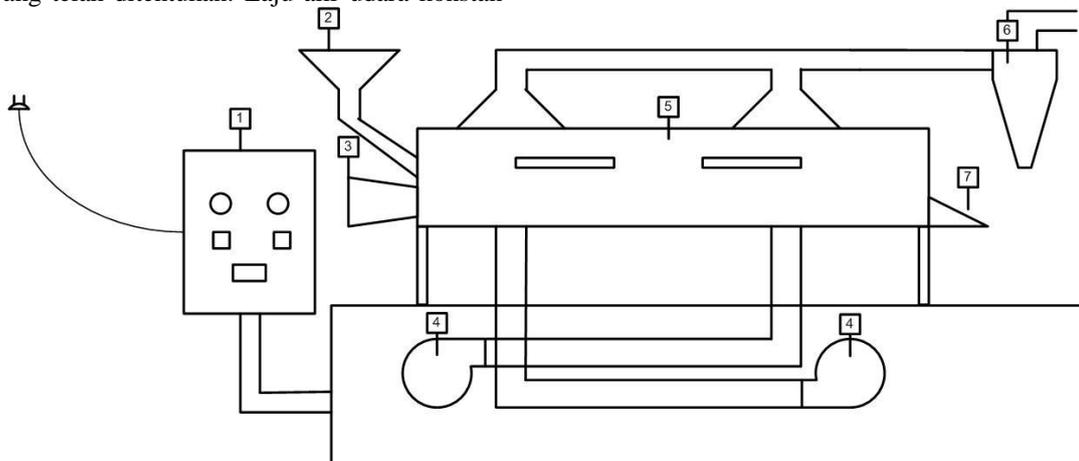
$$M_a = \rho_a V_a \quad (3)$$

dimana ρ_a adalah densitas udara kering dalam kg/m^3 , V_a adalah laju volumetrik udara pengering dalam m^3/s .

Entalpi udara pengering pada suhu masuk dan keluar (h_i dan h_o) dapat dihitung dengan persamaan :

$$h = C_{p_a} T_{da} + W h_{sat} \quad (4)$$

dimana C_{p_a} adalah panas spesifik udara kering dalam $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, T_{da} adalah suhu udara pengering dalam $^\circ\text{C}$, W adalah rasio humiditas udara pengering ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg da}$) dan da adalah udara pengering, h_{sat} adalah entalpi uap jenuh dalam J/kg .



Gambar 1. Pengering kontinu unggun fluidisasi getar (1) termostat, (2) umpan masuk, (3) vibrator, (4) blower, (5) ruang pengeringan dengan tiga sekat dan tiga termokopel, (6) siklon, (7) produk keluar

Panas spesifik udara kering dapat dihitung dengan persamaan :

$$Cp_a = 1,0029 + 5,4 \times 10^{-5} T_{da} \quad (5)$$

Rasio utilisasi energi dapat dihitung menggunakan persamaan (6) berikut

$$EUR = \frac{M_a(h_{ai} - h_{ao})}{M_a(h_{ai} - h_{a\infty})} \quad (6)$$

dimana EUR adalah rasio utilisasi energi dan $h_{a\infty}$ adalah entalpi udara pengering suhu lingkungan (J/kg).

Efisiensi energi (%) dapat dievaluasi dari rasio energi yang digunakan terhadap energi yang diberikan

$$\eta_E = [(E_i - E_o) / E_i] * 100 \quad (7)$$

dimana η_E adalah efisiensi energi, E_i adalah energi masuk, dan E_o adalah energi keluar.

Analisis eksergi

Analisis energi tidak dapat memberikan informasi mengenai aspek irreversibilitas proses termodinamika sehingga perlu analisis eksergi yang berdasarkan hukum kedua termodinamika. Perhitungan matematik pada kesetimbangan eksergi ditulis oleh Aviara dkk. (2014) :

$$EX = Cp[(T - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T}{T_{\infty}}] \quad (8)$$

dimana Cp adalah panas spesifik dalam J/(kg.°C)

Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung eksergi masuk dan keluar pada suhu masuk dan keluar. Kemudian eksergi hilang yang terjadi pada proses tersebut menggunakan persamaan

$$\sum EX_L = \sum EX_i - \sum EX_o \quad (9)$$

$\sum EX_L$ adalah eksergi hilang (J/s), $\sum EX_i$ adalah eksergi masuk (J/s), $\sum EX_o$ adalah eksergi keluar (J/s). Eksergi masuk tiap zona pengeringan dapat dihitung menggunakan persamaan

$$EX_i = Cp[(T_{ai} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ai}}{T_{\infty}}] \quad (10)$$

$$EX_i = 1,0029 + 5,4 \times 10^{-5} T_{ai} * [(T_{ai} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ai}}{T_{\infty}}] \quad (11)$$

Eksergi udara pengering yang keluar dari tiap zona pengeringan dihitung menggunakan persamaan

$$EX_o = Cp[(T_{ao} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ao}}{T_{\infty}}] \quad (12)$$

$$EX_o = 1,0029 + 5,4 \times 10^{-5} T_{ao} * [(T_{ao} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ao}}{T_{\infty}}] \quad (13)$$

Efisiensi eksergi dapat didefinisikan sebagai rasio eksergi keluar dalam pengeringan produk terhadap udara pengering yang disuplai pada sistem (Akpinar dkk., 2006).

$$\eta_{EX} = \frac{EX_i - EX_o}{EX_i} \quad (14)$$

dimana η_{EX} dalam %.

Efisiensi eksergi dapat digunakan untuk menentukan potensi pengembangan dari proses pengeringan. Persamaannya adalah

$$IP = (1 - \eta_{EX})(EX_i - EX_o) \quad (15)$$

dimana IP adalah potensi pengembangan eksergi dalam J/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Proksimat dan Karakterisasi Tepung Tapioka

Analisis komposisi proksimat dari tepung tapioka hasil pengeringan menggunakan pengering kontinu unggun fluidisasi getar dijelaskan pada Tabel 1. Hasil analisis derajat keputihan tepung tapioka menunjukkan hasil yang mendekati dengan standar minimal yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI). Kadar pati yang terkandung dalam tepung tapioka sudah melebihi standar minimal oleh SNI. Kadar air sebagai parameter utama dalam pengeringan juga telah memenuhi standar. Serat dalam tepung tapioka pun juga tidak ada. Hal ini menyimpulkan bahwa kualitas produk tapioka hasil pengeringan kontinu menggunakan pengering unggun fluidisasi getar telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI).

Gambar 2 adalah hasil uji scanning electron microscopy dan *x-ray diffraction* pada granula tapioka. Pada hasil *scanning electron microscopy* perbesaran 2000x, terlihat bahwa granula pati sebagian besar berbentuk *spherical* dengan diameter partikel rata-rata adalah 12,32 μ m. Ukuran granula ini lebih kecil dibandingkn ukuran granula yang dihasilkan oleh penelitian Aviara dkk. (2014) yang menggunakan pengering rak. Hal ini membuktikan bahwa unit penggetar mampu memecah granula pati menjadi lebih kecil.

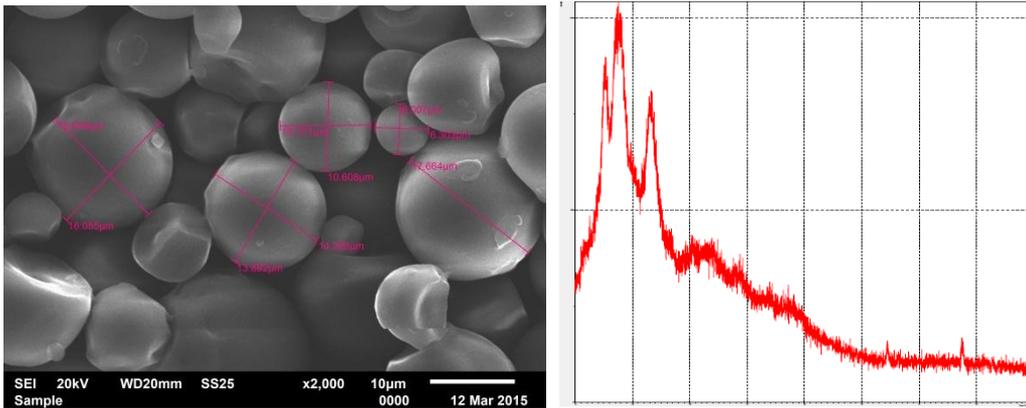
Tabel 1. Kualitas produk

No	Parameter	SNI Grade AAA	Sampel 1	Sampel 2
1	Keputihan	Min 95,5	95,37	95,38
2	Starch (%)	> 70	87,58	87,24
3	Moisture content (%)	12-15	10,45	10,72
4	Fiber	Negatif	-	-

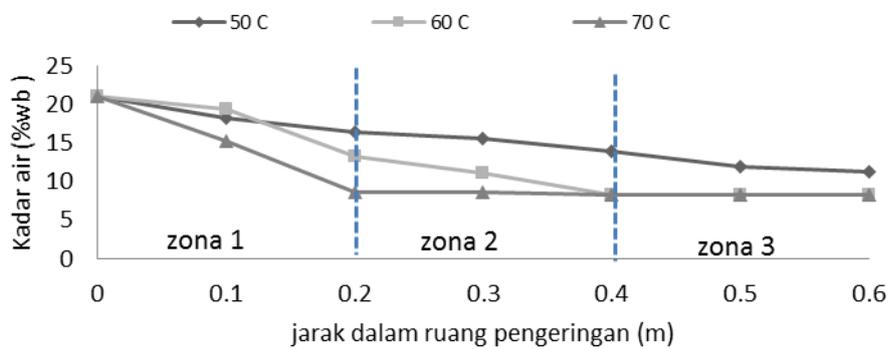
Tabel 2. Hasil *X-Ray Diffraction* tepung tapioka

No. peak	Sudut difraksi 2 Θ (°)	FWH M (°)
5	17,56	2,765
4	15,21	1,320
8	23,28	2,012

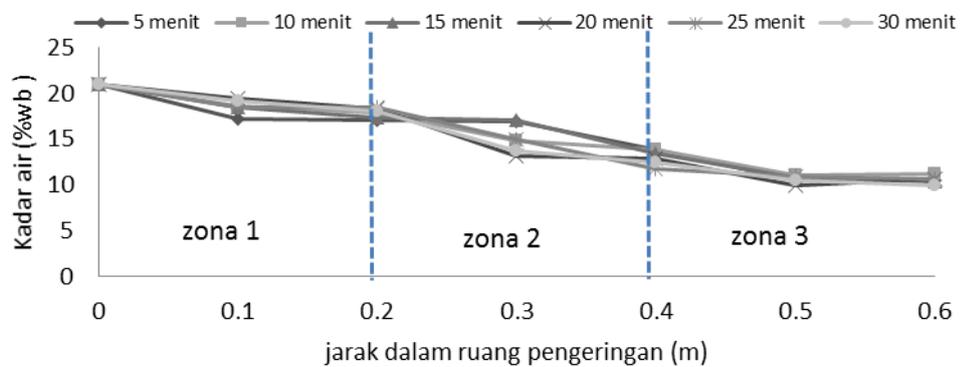
Pada Tabel 2, hasil uji *X-ray diffraction* yang menggunakan panjang gelombang 1,5406 Å menunjukkan puncak terkuat dari tapioka pada 17,56; 15,21; 23,28°. Berdasarkan Join Comitee Powder Difrraction Spectro #46-1978 diketahui bahwa struktur tepung tapioka ini adalah memiliki jenis struktur kristal Orthorhombic (Aviara dkk, 2010). Dari data yang dihasilkan oleh uji XRD, dapat juga dihitung rata-rata ukuran kristal yang sering disebut *crystallite site* menggunakan persamaan Scherrer yaitu sebesar 47,467 nm.



Gambar 2. Hasil SEM perbesaran 2000x dan pola X-Ray Diffraction tepung tapioka



Gambar 3. Pengaruh suhu udara pengering terhadap profil kadar air tapioka sepanjang unggun



Gambar 4. Kurva pengeringan sepanjang bed tiap waktu (suhu 60°C)

Kurva Pengeringan Tepung Tapioka

Pengaruh suhu udara pengering terhadap profil kadar air tapioka sepanjang unggun pengeringan dapat dilihat pada Gambar 3. Pada zona 1-3, penurunan kadar air tapioka sangat curam, pada tiap suhu pengeringan yang berbeda. Hal ini disebabkan, uap air yang teruapkan merupakan uap air permukaan yakni dari kadar air 0,2 sampai dengan 0,1. Pada suhu 70°C, penurunan kadar air langsung mencapai kadar 0,1, sehingga pada zona 2 dan 3, penurunan kadar air sangat sedikit. Sedangkan untuk suhu 60°C, penurunan kadar air lebih lambat, yakni untuk mencapai kadar air sampai dengan 0,1, baru tercapai pada zona 2. Akhirnya, untuk suhu 50°C, lebih lambat lagi, yakni untuk mencapai kadar air sampai dengan

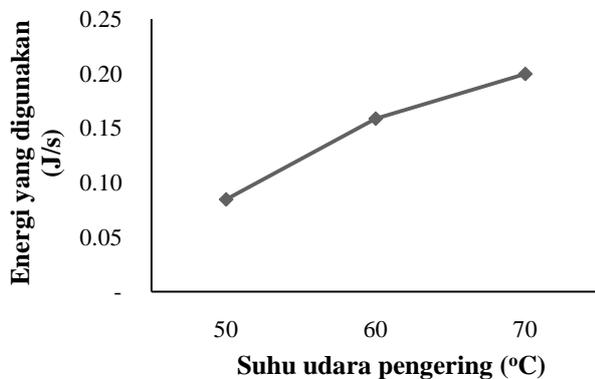
0,1, baru tercapai pada zona 3. Penurunan kadar air dibawah 0,1 masuk pada periode pengeringan difusi, yakni uap air yang ada adalah uap air terikat. Kadar air tapioka akhir keluaran pengering pada suhu 70°C menjadi 8%. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu udara pengering, maka semakin besar juga tenaga pendorong untuk menghilangkan kadar air. Kecenderungan ini sama dengan penelitian pengeringan zaitun (Smail, 2011) dan pengeringan tepung tapioka (Aviara dkk., 2014).

Gambar 4 menunjukkan bahwa konsistensi dari pengukuran kadar air tapioka pada posisi unggun yang sama dengan waktu pengukuran berbeda, menunjukkan bahwa kondisi operasi alat telah mencapai kondisi tunak. Alat pengering telah mampu

bekerja dengan sangat baik, dengan menghasilkan profil kadar uap air sepanjang unggun yang sama untuk waktu yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa produksibilitas dari alat rancangan pengering ini sudah baik

Utilisasi Energi

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu udara pengering, maka utilisasi energi semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena pengeringan tepung tapioka sebagian besar merupakan pengeringan uap air permukaan, sehingga dengan semakin tinggi suhu, maka transfer panas dan massa yang terjadi juga semakin tinggi, sehingga meningkatkan penggunaan energi dalam mengurangi kadar air produk. Utilisasi energi dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan diperoleh rata-rata penggunaan energi dari 0,08 hingga 0,20 J/s. Energi yang digunakan ini menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan suhu udara pengeringan pada proses pengeringan tepung tapioka. Hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian pengeringan tapioka menggunakan pengering rak oleh Aviara dkk. (2014), pengeringan wortel menggunakan *continuous band dryer* oleh Aghbashlo dkk. (2009), pengeringan wortel menggunakan pengering unggun fluidisasi oleh Nazghelici dkk. (2010), tetapi berbeda dengan pengeringan coroba menggunakan *convective dryer* oleh Corzo dkk. (2008).



Gambar 5. Pengaruh suhu udara pengering terhadap penggunaan energi

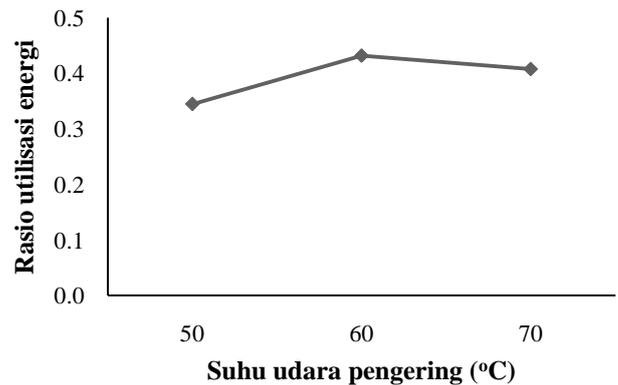
Rasio Utilisasi Energi

Gambar 6 menunjukkan bahwa pengaruh suhu udara pengering terhadap rasio utilisasi energi meningkat sedikit, namun kemudian hampir tidak signifikan. Rasio utilisasi energi dihitung menggunakan persamaan (6), dan diperoleh hasil bahwa peningkatan suhu dari 50-70°C, menyebabkan rasio utilisasi energi juga meningkat dari 0,34 sampai 0,41. Pengeringan wortel yang dilakukan Nazghelici dkk. (2010) juga menunjukkan hasil bahwa rasio utilisasi energi linier dengan suhu udara pengering.

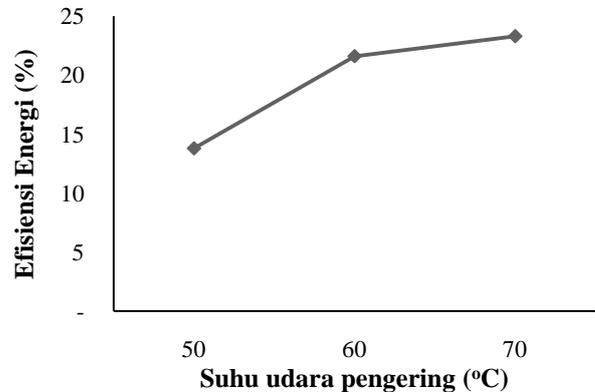
Efisiensi Energi

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu udara pengering maka efisiensi energi

semakin tinggi. Efisiensi energi dihitung menggunakan persamaan (7) dan menunjukkan efisiensi energi untuk mengeringkan tapioka meningkat dari 13,80% hingga 23,31% pada peningkatan suhu 50-70°C. Pada efisiensi energi, adanya peningkatan penggunaan energi tiap suhu, seperti ditunjukkan pada Gambar 5, maka menyebabkan efisiensi penggunaan energi untuk pengeringan tapioka meningkat. Hasil penelitian Aviara dkk. (2014) dan Assari dkk. (2013) juga menunjukkan pengaruh yang sama, bahwa semakin tinggi suhu udara pengering maka efisiensi energi semakin meningkat.



Gambar 6. Pengaruh suhu udara pengering terhadap rasio utilisasi energi

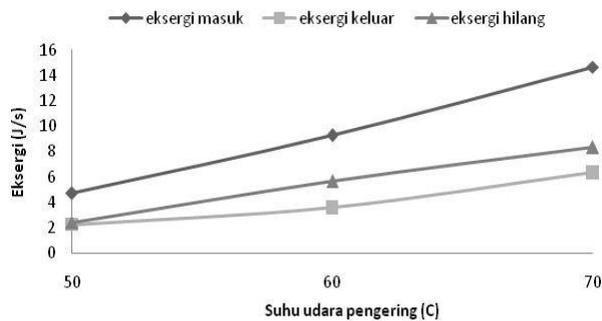


Gambar 7. Pengaruh suhu udara pengering terhadap efisiensi energi

Eksergi Masuk, Eksergi Keluar, dan Eksergi Hilang

Gambar 8 menunjukkan bahwa besaran eksergi masuk, eksergi keluar, dan eksergi hilang berbanding lurus dengan suhu. Perhitungan aliran eksergi ini menggunakan persamaan (8) dan persamaan (9) diperoleh eksergi masuk dari 4,701 menjadi 14,678 J/s, eksergi keluar dari 2,277 menjadi 6,344 J/s, dan eksergi hilang dari 2,424 menjadi 8,334 J/s. Semakin tinggi suhu mengakibatkan meningkatnya perbedaan antara eksergi yang masuk dan keluar. Hal ini terbukti pada meningkatnya eksergi yang hilang. Pengeringan wortel yang dilakukan oleh Aghbashlo dkk. (2009) menunjukkan bahwa eksergi yang hilang meningkat dengan meningkatnya suhu udara pengering. Hasil

yang sama juga diperoleh oleh Boukadoum dan Benzaout (2011) dan Aviara dkk. (2014).

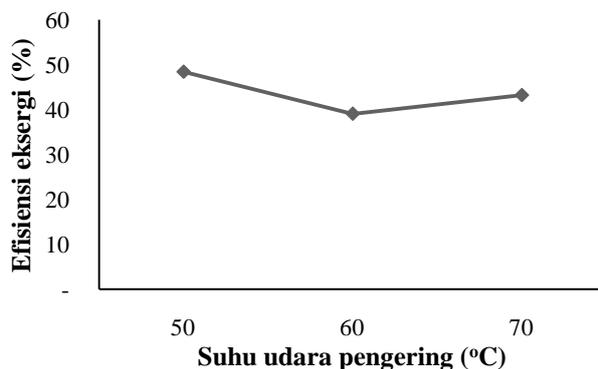


Gambar 8. Pengaruh suhu udara pengering terhadap eksergi masuk, keluar, dan hilang

Efisiensi Eksergetik

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa efisiensi eksergi menurun dengan meningkatnya suhu. Hal ini disebabkan karena efisiensi eksergi mempertimbangkan faktor keseimbangan antara suhu lingkungan dengan suhu udara pengering. Sehingga semakin besar pengaruhnya terhadap lingkungan, maka semakin berkurang efisiensinya. Efisiensi eksergi juga dipengaruhi oleh banyaknya eksergi yang hilang dilingkungan dengan semakin meningkatnya suhu udara pengering. Hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian Aghbashlo dkk. (2009) tetapi berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Nazghelichi dkk. (2010), dan Assari dkk. (2013).

Selain itu, dapat dilihat pada Gambar 7 dan 9 bahwa efisiensi eksergi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan efisiensi energi. Efisiensi eksergi maksimum terjadi pada efisiensi energi minimum dan efisiensi eksergi minimum terjadi pada efisiensi energi maksimum. Hal ini berbeda dengan penelitian Dincer (2011) dan Assari dkk.(2013) dimana efisiensi energi lebih besar dari efisiensi eksergi.

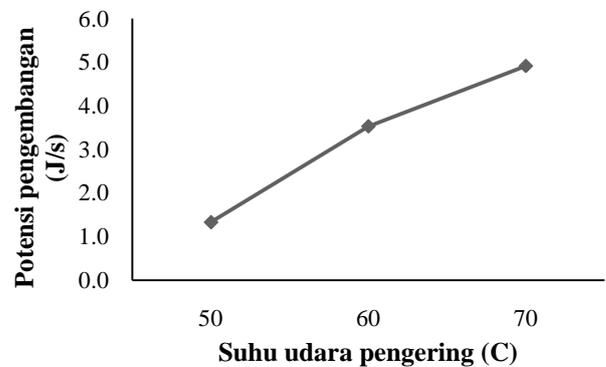


Gambar 9. Pengaruh suhu udara pengering terhadap efisiensi eksergi

Potensi Pengembangan

Dari Gambar 10 dapat kita lihat bahwa hubungan berbanding lurus terjadi antara suhu udara pengering dengan potensi pengembangan alat. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (15), potensi pengembangan alat pada suhu 50-70°C

dari 1,33 menjadi 4,91 J/s. Potensi pengembangan alat ini juga dipengaruhi oleh eksergi yang hilang. Semakin besarnya eksergi yang hilang dari sebuah alat, semakin besar potensi pengembangan perbaikan dari alat tersebut. Hasil ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Aviara dkk. (2014).



Gambar 10. Pengaruh suhu terhadap potensi pengembangan

KESIMPULAN

Hasil analisis proksimat tepung tapioka yang digunakan dalam penelitian pengeringan menggunakan pengering kontinu unggun fluidisasi getar menunjukkan hasil bahwa pati memiliki kandungan starch 87%, tingkat keputihan 95%, kandungan serat negatif, dan bentuk granula spherical dengan diameter 12,32 µm. Struktur kristal pati berbentuk orthorhombic dengan ukuran kristal 47,467 nm.

Analisis energi dan eksergi pada proses pengeringan menunjukkan bahwa (i) penggunaan energi semakin meningkat dengan meningkatnya suhu, (ii) eksergi masuk, eksergi keluar, eksergi hilang dan potensi pengembangan semakin meningkat dengan meningkatnya suhu, (iii) efisiensi energi lebih besar dari efisiensi eksergi, (iv) efisiensi energi semakin meningkat dengan meningkatnya suhu sedangkan efisiensi eksergi semakin menurun dengan meningkatnya suhu, (v) potensi pengembangan eksergi semakin meningkat dengan meningkatnya suhu dan eksergi yang hilang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dirjen Pendidikan Tinggi, Kementrian Riset dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., and Arabhosseini, A., (2009), Performance analysis of drying carrot slice in a semi-industrial continuous band dryer, *Food Eng.*, 91, pp. 99-108.

Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., and Akhijahani, H.S., (2008), Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation,

- energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae), *Energy Convers. Manage.*, 49(10), pp. 2865-2871.
- Akbulut, A. and Durmus, A., (2010), Energy and exergy analysis of thin layer drying of mulberry in a forced solar dryer, *Energy*, 35, pp. 1754-1763.
- Akpinar, E.K., (2005), Energy and exergy analyses of drying of eggplant slices in a cyclone type dryer, *J. Mech. Sci. Tech.*, 19(2), pp. 692-703.
- Akpinar E.K., Midilli, A., and Bicer, Y., (2005), Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer, *Energy Convers. Manage.*, 46, pp.2530-2552.
- Assari, M.R., Tabrizi, H.B., Najafpour, E., (2013), Energy and exergy analysis of fluidized bed dryer based on two-fluid modeling, *Int. J. Thermal Sci.*, 64, pp. 213-219.
- Aviara, N.A., Igbeka, J.C., and Nwokocha, L.M., (2010), Effect of drying temperature on physicochemical properties of cassava starch, *Int. Agrophysics*, (24), pp. 219-225.
- Aviara N.A., Onuoha, L.N., Falola, O.E., and Igbeka, J.C., (2014), Energy and exergy analysis of native cassava starch drying in a tray dryer, *Energy*, 73, pp. 809-817.
- Boukadoum, A.B. and Benzaout, A., (2011), Energy and exergy analysis of solar drying process of mint, *Energy Procedia*, 6, pp. 583-591.
- Colak, N. and Hepbasli, A., (2007), Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer, *J. Food Eng.*, 80(4), pp. 1188-1193.
- Corzo, O., Bracho, N., Vásquez, A., and Pereira, A., (2008), Energy and exergy analysis of thin layer drying of coroba slices, *J. Food Eng.*, 86, pp. 151-161.
- Dincer, I., (2011), Exergy as a potential tool for sustainable drying system, *Sustain Cities Soc.*, 1, pp. 91-96.
- Dincer, I. and Sahin, A.Z., (2004), A new model for thermodynamics analysis of a drying process, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 47, pp. 645-652.
- Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M.Y., and Ruslan, M.H., (2014), Energy and exergy analyses of solar drying system of red seaweed, *Energy and Buildings* 68, pp. 121-129.
- Hepbasli, A., Erbay, Z., Colak, N., Kuzgunkaya, E.H., Icier, F., (2010), An exergetic performance assessment of three different food driers, *Proceedings of the Institution of Mech. Eng., Part A : J. Power Energy*, 224 (1), pp. 1-12.
- Karaguzel, I., Tekin, E., and Topuz, A., (2012), Energy and exergy analysis of fluidized bed drying of chickpea and bean, *Sci. Res. Essays*, 7(46), pp. 3961-3973.
- Karimi, F. and Rafiee, S., (2012), Optimization of an air drying process for Artemisia absinthium leaves using response surface and artificial neural network models, *J. Taiwan Ins. Chem. Eng.*, 43(1), pp. 29-39.
- Midilli, A. and Kucuk, H., (2003), Energy and exergy analysis of solar drying process of pistachio, *Energy*, 28 (6), pp. 539-556.
- Nazghelichi, T., Kianmehr, M.H., and Aghbashlo, M., (2010), Thermodynamic analysis of fluidized bed drying of carrot cubes, *Energy*, 35, pp. 4697-4684.
- Ocal, C., (2013), Drying of natural zeolite powders in vibrated fluidized beds, *Master Thesis*, Middle East Technical University.
- Palzer, S., (2007), Drying of wet agglomeration in a continuous fluid bed : Influence of residence time, air temperature and air flowrate on the drying kinetics and the ammount of oversize particles, *Chem. Eng. Sci.*, 62, pp. 463-470.
- Sarker, M.S.H., Ibrahim, M.N., Aziz, N.A., and Punan, M.S., (2015), Energy and exergy analysis of industrial fluidized bed drying of paddy, *Energy*, 84, pp. 131-138
- Smail, M., (2011), Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer, *Energy Convers. Manage.*, 52, pp. 1644-1649.
- Stacic, M. and Urosevic, T., (2011), Experimental study and simulation of vibrated fluidized bed drying, *Chem. Eng. Process.*, 50, pp. 428-437.
- Tonukari, N.J., (2004), Cassava and the future of starch, *Electron. J. Biotech.*, 7 (1), pp. 5-8.
- Venkantesh, R., Deiva, M., Grmela, J., and Chaouki, (1998), Simulations of vibrated fine powders, *Powder Technol.*, 100, pp. 211-222.
- Yang, X., Zhao, Y., Luo, Z., Song, S., Duan, C., and Dong, L., (2013), Fine coal dry cleaning using a vibrated gas-fluidized bed, *Fuel Process. Technol.*, 106, pp. 338-343.
- Zhao, P., Zhao, Y., Chen, Z., and Luo, Z., (2015), Dry cleaning of fine lignite in vibrated gas-fluidized bed : Segregation characteristics, *Fuel*, 142, pp. 274-282.