

MASS DIFFUSIVITY PADA PENGERINGAN BEKU VAKUM ALOEVERA AKIBAT VARIASI TEMPERATUR PEMANAS (POSISI ATAS DAN POSISI BAWAH) DARI PANAS BUANG KONDENSER

Muhamad yulianto, M. Idrus Alhamid, Nasruddin
Laboratorium Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara
Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, INDONESIA
Ph. +62 21 7270032, Fax. +62 21 727003
Email : muhamad_yulianto@yahoo.com

ABSTRAK

Pengeringan Beku Vakum adalah proses dehidrasi dimana air (dalam bentuk es/padatan) dipindahkan atau berubah wujud menjadi gas dengan jalan sublimasi secara langsung. Sublimasi tersebut dimulai dari permukaan material yang kemudian menuju ke pusat bahan. Keunggulan dari sistem pengeringan beku vakum diantaranya adalah tidak merusak bentuk, penampilan, rasa, tekstur, kandungan biologi dan gizi yang terkandung didalamnya. Oleh karena itu metode pengeringan ini sangat cocok diterapkan untuk bahan dasar yg digunakan untuk medis dan kosmetik. Objek pada penelitian ini adalah Aloe vera atau sering disebut lidah buaya. Aloe vera adalah salah satu jenis tanaman obat yang banyak tumbuh dengan subur di wilayah Indonesia yang digunakan sebagai bahan dasar obat-obatan, kosmetik dan perawatan kesehatan. Pada penelitian ini objek aloe vera terlebih dahulu diblender sebelum masuk ke proses pengeringan beku vakum pada temperatur kamar 25°C. Salah satu tahap proses pengeringan beku adalah proses sublimasi. Pada proses sublimasi dibutuhkan panas yang disediakan secara kontinyu. Semakin besar temperatur panas yang disediakan akan memperbesar laju pengeringan dan akan mempercepat waktu pengeringan. Pada penelitian ini, temperatur pemanas disediakan dengan memanfaatkan panas buang kondenser dari sistem refrigerasi yang digunakan sebagai cold trap. Temperatur pemanas yang terdiri dari pemanas pada posisi bawah dan posisi atas divariasikan dari 22°C (Tanpa pemanas), 26°C, 28°C, 30°C dan 32°C. Hasil Penelitian menunjukan bahwa dengan menaikkan temperatur pemanas akan meningkatkan laju pengeringan yang mempercepat waktu pengeringan. tetapi tidak merubah mass diffusivity dari material aloe vera atau lidah buaya

Keywords: Pengeringan beku vakum, Mass diffusivity, Waktu pengeringan, Aloe vera, pemanas atas dan bawah

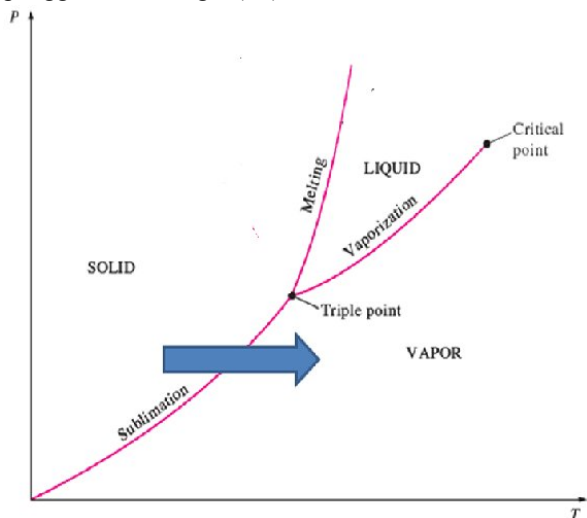
1. Introduction

Aloe vera atau biasa disebut lidah buaya adalah sejenis tumbuhan yang masuk dalam kategori tanaman obat dan merupakan anti oksidan yang biasanya digunakan sebagai bahan dasar farmasi dan obat-obatan [1]. Dalam pengolahan untuk dijadikan menjadi bahan dasar farmasi dan obat-obatan terlebih dahulu aloe vera dibuat menjadi ekstrak. Proses ekstraksi pada dasarnya adalah pemindahan massa dengan jalan penguapan atau sublimasi air dari produk ke lingkungan. Pemindahan massa dengan jalan penguapan dinilai kurang tepat untuk produk yang digunakan sebagai bahan farmasi dan obat-obatan karena selain air kandungan zat lain juga bisa ikut teruapkan[2]. Baru-baru ini banyak dikembangkan proses pengeringan yang dilakukan pada tekanan rendah yang biasa disebut *freeze vacuum drying* (pengeringan beku vakum).

Pengeringan beku vakum (*freeze vacuum drying*) adalah proses pengeringan yang terjadi pada tekanan rendah atau pada posisi dibawah titik triple point (tekanan 6.1 milibar dan temperature 0°C) [3]. Proses pengeringan vakum dapat menjaga kandungan gizi, bentuk, warna dan kandungan biologis serta struktur dari produk [4]. Proses pengeringan terdiri dari 3 proses utama yaitu proses pembekuan, proses pengeringan primer dan proses pengeringan sekunder. Pada proses pembekuan yang menggunakan pembekuan cepat vakum, prinsip kerjanya sesuai dengan diagram hubungan tekanan dengan air. Dimana jika kita menurunkan tekanan maka temperatur air akan turun karena terambilnya panas sensible dari material secara terus menerus sesuai diagram tekanan – temperatur (Diagram P – T) dari air pada gambar 1[5]. Setelah proses pembekuan terjadi dibawah titik triple point, selanjutnya adalah proses sublimasi / proses



pengeringan primer yaitu proses perubahan zat dari padat / es ke gas. Pada pengeringan beku vakum perubahan zat terjadi secara langsung dari es ke gas. Pada proses pengeringan primer dibutuhkan persediaan panas secara berkelanjutan. Pada beberapa literature menyebutkan bahwa energy panas yang dibutuhkan untuk perubahan zat dari es ke gas adalah 2840kJ/kg [6]. Panas sebagai media sublimasi diperoleh diantaranya dengan menggunakan pemanas elektrik, pemanas microwave dan panas matahari. Proses selanjutnya adalah proses pengeringan sekunder, pada proses ini merupakan akhir dari proses pengeringan beku vakum dimana kandungan air yang tersisa pada celah-celah es kristal tersublimasi. Proses pendukung lainnya adalah proses penangkapan uap air agar gas yang mengandung uap air tidak masuk dalam pompa vakum, yang dapat menyebabkan kerusakan pada vakum. Beberapa penelitian menyebutkan penangkapan uap air ini dengan jalan penggunaan Nitrogen(N_2).



Gambar 1. Diagram Tekanan – Temperatur air

Kelemahan dari pengeringan beku adalah sangat intensif dalam penggunaan energi karena proses-proses diatas. Pada penelitian-penelitian terdahulu digunakan beberapa cara diantaranya dengan meningkatkan laju pengeringan dan Laju perpindahan massa (Mass Diffusivity dengan menaikkan temperatur pemanas dari pemanas elektrik pada posisi atas, diantaranya dilakukan oleh R. Chakraborty (2006) menyebutkan bahwa pada pengeringan mangga dengan memvariasikan temperatur pemanas atas 20°C sampai dengan 50°C dapat meningkatkan laju pengeringan sehingga dapat mengurangi waktu pengeringan[7]. Selain itu massa diffusivity juga tergantung dari ketebalan produk, James. P George (2002) menyebutkan pada pengeringan jamur dengan memvariasikan tebal material 1, 2, dan 3 cm menyebutkan semakin tebal material maka akan meningkatkan massa diffusivity dari material [8]. Penelitian paling baru adalah yang dilakukan oleh Arun. S

Mujumdar dan Min zhang (2010) menyebutkan bahwa untuk mengeringkan 25 gram teripang dengan Kandungan air awal 70% dan temperatur pembekuan 20°C dapat dikeringkan dengan temperatur pemanas dari microwave sebesar 60°C yang menghasilkan produk teripang dengan kandungan air 6% selama 18 jam [9].

Penelitian-penelitian diatas dapat menunjukan bahwa massa diffusivity mempunyai pengaruh terhadap waktu pengeringan. Sedangkan waktu pengeringan sendiri dipengaruhi oleh ketebalan material, kandungan air material dan temperatur pemanas untuk proses sublimasi. Penelitian-penelitian diatas temperatur pemanas menggunakan pemanas elektrik dan microwave yang operasinya juga membutuhkan energi. Dalam penelitian ini akan digunakan pemanas menggunakan panas buang kondenser dari cold trap sehingga akan mengurangi penggunaan energy pada proses pengeringan beku vakum karena panas yang seharusnya dibuang kelingkungan pada sistem refrigerasi (cold trap) akan digunakan kembali sebagai pemanas untuk proses sublimasi. Pada penelitian ini akan dibahas korelasi efek dari pemanas panas buang kondenser yang terletak pada posisi atas dan bawah material terhadap massa diffusivity. Pemanas dari panas buang kondenser pada penelitian ini akan divariasikan dari 26°C, 28°C, 30°C dan 32°C.

Nomenclatures

T	= Temperatur (°C)
L	= Ketebalan material (m)
N	= Mass flux (kg/m ² s)
q	= Heat flux (J/(m ² s))
P	= Tekanan chamber (mbar)
t	= Waktu pengeringan (h)
ΔH	= Panas laten sublimasi (J/kg)
λ	= Konduktivitas panas (J/(m.s.K))
x	= Fraksi awal kandungan air (dimensionless)
X	= Kandungan air (kg H ₂ O/kg dry)
D'	= Massa diffusivity (m ² /s)
R	= Konstanta gas ideal (8314Pa m ³ kg/mol k)
k	= koefisien perpindahan massa konveksi di dalam chamber (kg mol/m ² pa s)

Subscripts

d	= dry region
f	= frozen region
H	= heater
w	= water
wv	= water vapor

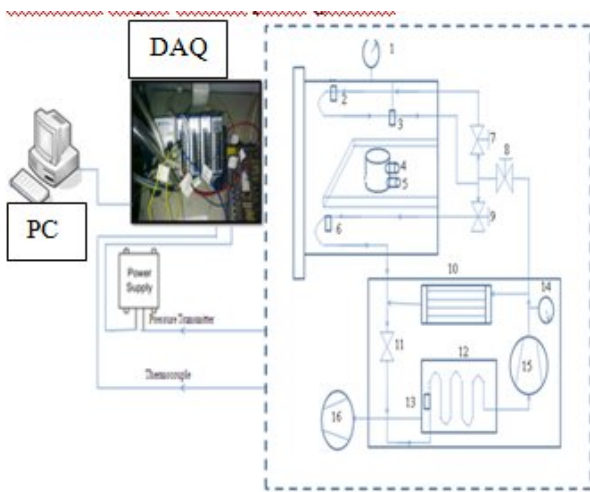
Superscripts

0	= Initial value
d1	= dried layer

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aloe vera / lidah buaya dengan terlebih dahulu diblender dijadikan menjadi cairan. Beberapa alat ukur digunakan



untuk mengukur tekanan chamber, temperatur baik diruangan pengering, cold trap dan di dalam material. Alat untuk mengukur tekanan digunakan pressure transmitter PTX 1400 dengan spesifikasi 0-4 bar dan akurasi 0.15%, sedangkan alat untuk mengukur temperatur digunakan thermocouple tipe K dengan akurasi 0.4%. Semua alat ukur tersebut dikoneksikan dengan menggunakan National Instrument agar bisa dibaca oleh computer dengan menggunakan software Lab View. Untuk mengukur Loss On Drying (LOD) digunakan timbangan digital AND dengan spesifikasi 0-1200 gram dan akurasi 0.1%. Secara skematik proses pengambilan data dari pengeringan beku vakum aloe vera dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 skema pengujian pengeringan beku vakum

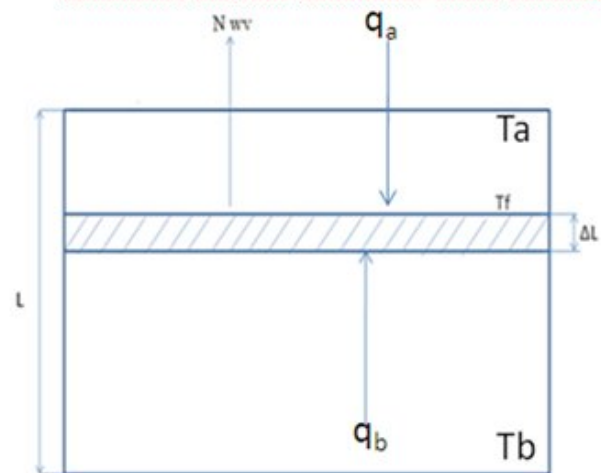
Komponen-komponen yang digunakan pada skema pengujian beku vakum adalah sebagai berikut :

1. Pressure transmitter
2. Thermocouple pada pemanas atas
3. Thermocouple di ruangan pengering
4. Thermocouple di material pada posisi atas
5. Thermocouple di material pada posisi bawah
6. Thermocouple pemanas bawah
- 7, 8, 9 Katup on/off
10. Kondenser
11. Katup Ekspansi
12. Evaporator (Cold trap)
13. Thermocouple evaporator
14. Pressure transmitter untuk discharge
15. Kompresor
16. Pompa Vakum

Prosedur pengujian adalah pertama-tama material sebelum masuk proses pengeringan beku ditimbang untuk mengetahui berat awal material. Kemudian sistem refrigerasi dinyalakan sampai dengan mencapai temperature dibawah -23°C . Setelah itu pompa vakum

dinyalakan untuk pembekuan cepat material. Setelah material mencapai temperatur beku dibawah 0°C , katup pemanas atas / bawah dinyalakan. Proses pengeringan beku vakum dinyatakan selesai jika temperatur material sama dengan temperatur ruangan pengeringan. Setelah proses selesai ekstrak ditimbang untuk mengetahui Loss On Drying (LOD) dan kandungan air akhir dari aloe vera.

Beberapa persamaan digunakan untuk mengolah data dari skema pengeringan beku. Sistem satu dimensi dengan batasan radiasi dan konveksi digunakan untuk mendapatkan persamaan perpindahan panas dan massa. Pada gambar 3 merupakan sistematis perpindahan massa yang disebabkan dari efek pemanasan untuk sublimasi.



Gambar 3. Skema perpindahan panas dan massa

Heat fluks pada material dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (7,8, 10, 11,12):

$$q = \frac{\lambda}{L - \Delta L} (T_h - T_f) \quad \text{Pada } x = 0 \quad (1)$$

dimana : $\Delta L = (1 - x)L$

Laju pengeringan dapat dihitung dengan persamaan :
Ketika Δt mendekati 0,

$$N_{wv} = \frac{L}{V_s} \left(-\frac{dx}{dt} \right) = L \cdot X_o \cdot ps \left(-\frac{dx}{dt} \right) \quad (2)$$

Sedangkan laju pengeringan yang disebabkan karena heat flux dapat dihitung dengan persamaan :

$$q = -\Delta H \cdot N_{wv} \quad (3)$$

Sedangkan dua teori, teori "lubang" Eyring dan teori termodinamika telah dipostulate untuk menjelaskan proses difusi dari zat-zat terlarut dengan persamaan berikut (13):

$$D_{AB} = \frac{k \cdot T}{6 \cdot \pi \cdot R \cdot \mu B} \quad (4)$$

Dimana D_{AB} adalah diffusifitas dari A dalam larutan encer B. Atau dapat dituliskan :



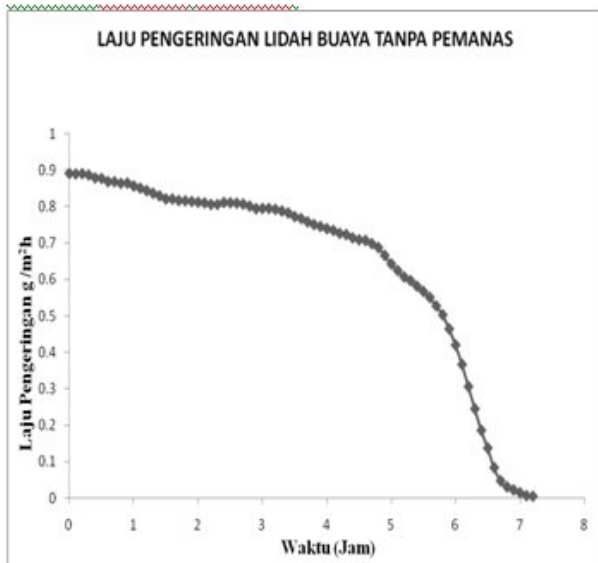
$$\frac{D_{AB} \cdot \mu_B}{k \cdot T} = f(V) \quad (6)$$

dimana $f(V)$ dalam persamaan ini adalah fungsi dari volume molekuler dari zat terlarut yang terdifusi. Beberapa korelasi empiris dengan menggunakan bentuk umum persamaan 6 telah dikembangkan, diantaranya wilke dan chang dengan persamaan berikut :

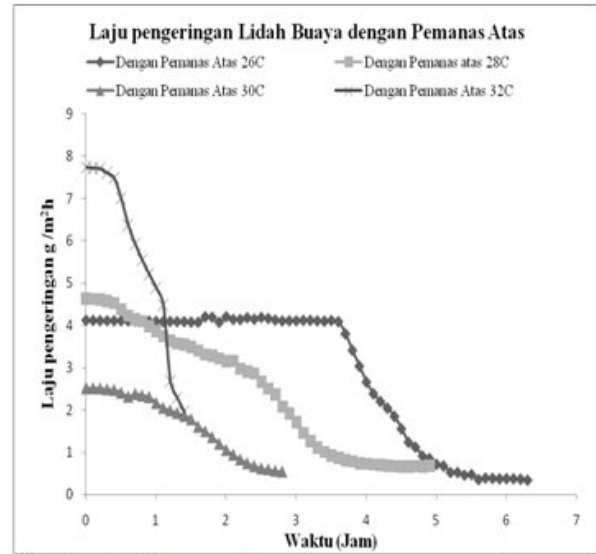
$$\frac{D_{AB} \cdot \mu_B}{T} = \frac{7.4 \times 10^{-8} (\phi_B \cdot M_B)^{1/2}}{V_A^{0.6}} \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 4 dibawah dapat dilihat laju pengeringan pada proses pengeringan beku tanpa pemanas sedangkan pada gambar 5 dengan pemanas posisi atas yang divariasikan dari 26°C sampai dengan 32°C. Laju pengeringan tanpa pemanas menunjukan nilai maksimal 0.89 g/m²h, sedangkan untuk pemanas posisi atas dengan temperatur 26°C, 28°C, 30°C, 32°C menunjukan nilai maksimal laju pengeringan 2.90 g/m²h, 2.46 g/m²h, 1.66 g/m²h, 5.64 g/m²h. Laju pengeringan semakin menurun selama waktu pengeringan hal ini terjadi karena kandungan air dalam material semakin menurun.

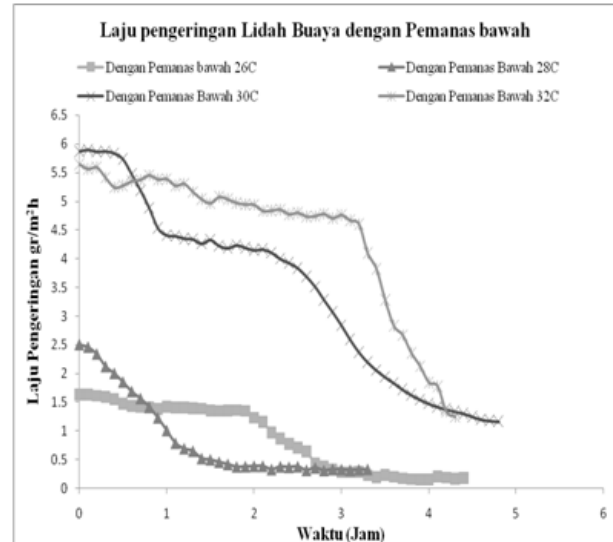


Gambar 4. Laju pengeringan tanpa pemanas



Gambar 5. Laju pengeringan dengan pemanas posisi atas

Sedangkan pada gambar 6 dapat dilihat laju pengeringan dengan menggunakan pemanas pada posisi bawah yang divariasikan dari 26°C, 28°C, 30°C dan 32°C. Pada grafik dapat dilihat bahwa bahwa laju pengeringan maksimal dari variasi temperatur tersebut adalah 0.84 g/m²h, 0.88 g/m²h, 3.43 g/m²h, 4.43 g/m²h. Pada pengeringan beku vakum dengan pemanasan posisi bawah juga menunjukan gejala sama yaitu selama proses pengeringan terjadi penurunan laju pengeringan dikarenakan kandungan air dalam material yang semakin menurun.



Gambar 6. Laju pengeringan dengan pemanas posisi bawah

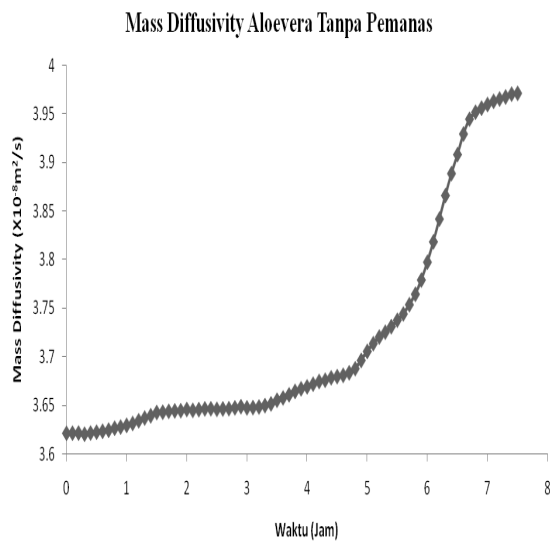
Pada tabel 1 dapat dilihat pengaruh tekanan terhadap temperatur pembekuan dan kandungan air akhir dimaterial. Tekanan dari ruangan mempengaruhi kandungan air akhir dimaterial dan temperatur

pembekuan. Kandungan air akhir di material yang biasa disebut sebagai EMC (Equilibrium Moisture Content) dipengaruhi oleh tekanan parsial dan juga karakter dari material itu sendiri. Sedangkan temperatur material dipengaruhi oleh tekanan karena semakin kecil tekanan vakum maka semakin besar panas laten yang diambil dari material yang menyebabkan penurunan temperature

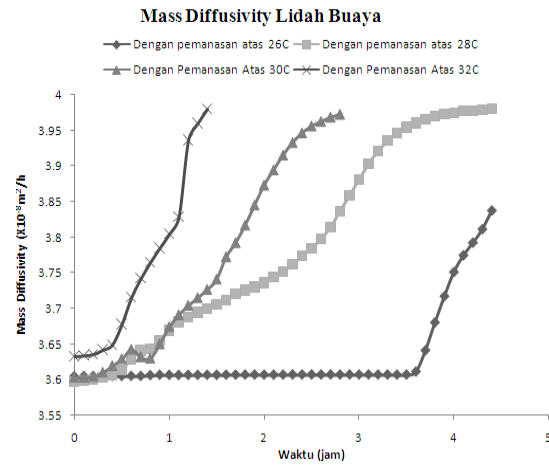
Tabel 1. Data pengujian pengeringan beku vakum

No	Kandungan Air(g)		pemanas(°C)		Temp(°C)	Tekanan (mili bar)
	Awal	Akhir	Bawah	Atas	Freeze	
1	44.415	0.285	22	22	-3.12	1.91
2	44.415	0.065	26	22	-4.40	0.35
3	44.415	0.085	28	22	-4.91	0.38
4	44.415	0.415	30	22	-4.52	1.95
5	44.415	0.215	32	22	-2.31	1.98
6	44.415	0.295	22	26	-2.33	1.76
7	44.415	0.275	22	28	-2.33	2.89
8	44.415	0.065	22	30	-2.97	0.63
9	44.415	0.085	22	32	-3.61	0.21

Pada gambar 7 dapat dilihat grafik mass diffusivity dari lidah buaya tanpa pemanas. Dari grafik dapat dilihat bahwa mass diffusivity aloevera tanpa pemanas mempunyai nilai awal adalah $3.62 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$. Sedangkan pada gambar 8 dapat dilihat grafik mass diffusivity dari lidah buaya yang divariasikan temperatur pemanas pada posisi atas dengan variasi 26°C, 28°C, 30°C dan 32°C. Nilai awal mass diffusivity dari variasi temperatur berturut-turut adalah $3.60 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$, $3.59 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$, $3.60 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$, $3.63 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$. Baik mass diffusivity tanpa pemanasan maupun dengan pemanasan atas menunjukkan bahwa nilai mass diffusivity aloevera semakin meningkat selama pengeringan.

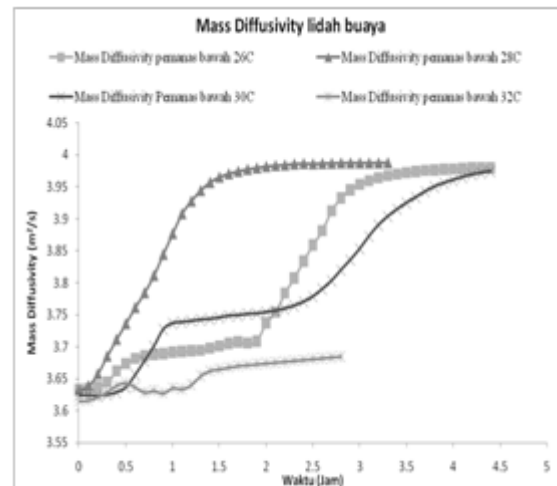


Gambar 7. Mass Diffusivity tanpa pemanas



Gambar 8. Mass Diffusivity dengan Pemanas Posisi Atas

Sedangkan pada gambar 9 dapat dilihat grafik untuk mass diffusivity dari lidah buaya yang dalam prosesnya divariasikan temperatur pemanas pada posisi bawah dengan variasi 26°C, 28°C, 30°C dan 32°C. Nilai awal mass diffusivity dari variasi temperatur berturut-turut adalah $3.63 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$, $3.63 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$, $3.62 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$, $3.61 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$. Baik mass diffusivity tanpa pemanasan maupun dengan pemanasan bawah dan atas menunjukkan bahwa nilai mass diffusivity aloevera semakin meningkat selama pengeringan.



Gambar 9. Mass Diffusivity dengan Pemanas Posisi Bawah

Tabel 2. Menunjukkan bahwa rata-rata mass diffusivity selama proses pengeringan yang menunjukkan tidak mempunyai pengaruh yang besar terhadap waktu



pengeringan maupun laju pengeringan dari material aloevera

Tabel 2 Mass diffusivity aloevera

No	Temperatur °C)			Mass Diffusivity	Waktu Pengeringan
	Pemanas Bawah	Pemanas Atas	Pembekuan		
1	22	22	-3.12	3.72	7.5
2	26	22	-4.40	3,81	6.3
3	28	22	-4.91	3.89	4.9
4	30	22	-4.52	3.79	2.8
5	32	22	-2.31	3.65	1.4
6	22	26	-2.33	3.84	4.4
7	22	28	-2.33	3.61	3.3
8	22	30	-2.97	3.76	4.8
9	22	32	-3.61	3.76	4.3

Gambar 10 menunjukkan material lidah buaya pada kondisi awal sebelum masuk proses pengeringan dengan kandungan air awal sebesar 98.7%. Gambar 11 sampai gambar 21 menunjukkan gambar produk kering dengan pemanasan pada posisi atas dan bawah yang mempunyai kandungan air akhir 32.75% untuk produk pengeringan tanpa pemanasan dan produk dengan variasi temperatur. 26°C, 28°C, 30°C, 32°C dengan kandungan air akhir 10%, 12.69%, 41.5%, 26.87% (Pemanas pada posisi atas), 33,52%, 31.98%,10%,12,69%(Pemanas pada posisi bawah)



Gambar 10. kondisi awal Lidah buaya sebelum proses



Gambar 11 kondisi dengan tanpa pemanasan



Gambar 12 kondisi dengan pemanasan Atas 26°C



Gambar 13 kondisi dengan pemanasan bawah 26°C



Gambar 14 kondisi dengan pemanasan Atas 28°C



Gambar 15 kondisi dengan pemanasan bawah 28°C



Gambar 15 kondisi dengan pemanasan Bawah 32°C



Gambar 12 kondisi dengan pemanasan Atas 30°C



Gambar 14 kondisi dengan pemanasan atas 30°C



Gambar 14 kondisi dengan pemanasan atas 32°C

4. Kesimpulan

1. Pengeringan beku dengan metode pemanasan baik dari posisi atas dan posisi bawah dapat menurunkan waktu pengeringan.
2. Kandungan air akhir dari aloe vera dipengaruhi oleh waktu pengeringan dan juga tekanan dalam ruangan pengering. Tekanan yang paling kecil (sangat vakum) akan menghasilkan kandungan air akhir dari material juga kecil.
3. Mass Diffusivity tidak dipengaruhi oleh temperatur pemanasan tetapi dipengaruhi oleh temperatur pembekuan dari material.
4. Mass diffusivity dipengaruhi juga oleh tekanan ruangan pengering. Semakin kecil tekanan ruangan pengering maka akan menghasilkan mass diffusivity yang besar.
5. Material dengan kandungan air akhir paling kecil (dalam eksperimen ini adalah aloe vera) dengan kandungan air 10% bentuknya akan menyerupai kapas.

Penghargaan

The authors acknowledge the financial support from DRPM UI (Research Centre of UI) with Contract No : 773h/DRPM-UI/A/N1.4/2009

Reference

1. Herlina., Pramu, FK., 1996, "Uji biologis membran hidrogel lidah buaya (*Aloe vera* Linn.) steril yang dibuat secara liofilisasi dan iradiasi padauka terbuka buatan", Available at: http://www.warintek.ristek.go.id/pangan_kesehatan/tanaman_obat/pt/buku08.pdf, diakses 27 November 2009
2. P. Bambang, S.A Widioko, Wawan.R,"Ekstraksi Kontinyu dengan Simulasi Batch Tiga Tahapan

- Aliran Lawan Arah : Pengambilan Minyak biji Alpukat Menggunakan Pelarut N-Hexane dan Iso Propil Alkohol, Reaktor, Vol. 12 No 1, Juni 2008 Hal 37-41
3. Wiliam. Otjen George, Peter Haseley, Freeze Drying : Second, Completely Revised and Extended Edition, Copyright 2004 Wiley – VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, ISBN : 978-3-527-30620-6
 4. A. Salvatore, Velardi, Antonello A. Barresi, Development of Simplified models for freeze-drying process and investigation of the optimal operation conditions, Elsevier International Journal Chemical Engineering and Design 86 (2008) 9-22
 5. Cengel, Yunus A., Michael A. Boles. 1994. Thermodynamics an Engineering Approach. New York : McGraw-Hill
 6. Arun S Mujumdar,. Industrial Drying Principles, Equipments and New Development. ISBN-10 : 81-907371-3-9 (2008)
 7. R. Chakraborty. R, A.K Saha, P. Bhattacharya, Modeling and Simulation of parametric Sensitivity in primary freeze-drying of foodstuffs, Elsevier International Journal Separation and Purification Technology 49 (2006) 258-263
 8. P.G. James, A.K. Data, Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices, Elsevier International Journal Food Engineering 52 (2002) 89-93
 9. Duan. Xu, Min Zhang, Arun S. Mujumdar, Shaojin Wang, Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japoicus*), Elsevier International Journal food engineering 96 (2010) 491-497
 10. Arun S Mujumdar, 2008. Industrial Drying Principles, Equipments and New Development. ISBN-10 : 81-907371-3-9
 11. A.B. Edinara, R.M. Filho, E.C.V. De Toledo, Freeze drying process : real time model and optimization, Elsevier International Journal Chemical Engineering and Process 43 (2004) 1475-1485
 12. Gan.K.H, R. Brutini, O.K Crosser, A.I. Liapis, Freeze-drying of pharmaceuticals in vials on tray : effects of drying chamber wall temperature and tray side on lyophilization performance, Elsevier International Journal Heat and Mass Transfer 48 (2005) 1675-1687
 13. James R Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson, Gregory Rorerer, “ Tranfer Momentum vol 2” Erlangga, ISBN 979-741-019-6

