

## **PENGEMBANGAN PENGERING BEKU PEMBEKUAN VAKUM DENGAN PEMANASAN KONDENSER**

**Belyamin<sup>1</sup>, Rahmat Subarkah<sup>1</sup>, Nasruddin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta Kampus UI DEPOK email : belyamin@yahoo.com

<sup>2</sup> Department Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia Kampus UI DEPOK

### **ABSTRACT**

*Every year, West Kalimantan exports fresh aloe vera abroad and at the same time the domestic industry imports aloe vera powder produced by freeze drying process. If the freeze drying machine can be produced domestically, the aloe vera product that became the mainstay of West Kalimantan can be processed in Indonesia. To achieve this long-term goal, a study that could result in freeze drying machine that can produce aloe vera powder efficiently is needed. The process of designing, manufacturing and testing of vacuum freeze drying machine with condenser waste heat conducted at the Refrigeration Laboratory of Department of Mechanical Engineering UI. Vacuum freeze drying machine is designed and fabricated consisting of Chamber (there are containers placed material, the upper and lower heater) and Evaporator (cooling systems). This research has resulted a machine of freezing vacuum freeze dryers with heating condenser, working pressure -1 up to 3 millibars, the chamber temperature to minus or below 0 °C, condenser temperature reaches 35 °C. In the drying process does not use a heating condenser then sublimation process completion time for 13 hours and obtained LOD values of ± 98.6%, while in the drying process that uses a heating condenser, it is time to 6.5 to 7 hours and obtained LOD values of ± 95, 6%.*

**Keywords :** *aloe vera, freeze drying, vacuum freeze*

### **ABSTRAK**

*Setiap tahun Kalimantan Barat mengeksport lidah buaya segar ke luar negeri dan pada saat yang sama industri dalam negeri mengimpor serbuk lidah buaya yang dihasilkan dengan proses pengeringan beku. Jika dapat dihasilkan mesin pengering beku di dalam negeri, maka lidah buaya yang menjadi produk andalan Kalimantan Barat dapat diproses di dalam negeri. Untuk mencapai tujuan jangka panjang ini maka diperlukan suatu penelitian yang dapat menghasilkan mesin pengering beku yang dapat memproduksi serbuk lidah buaya dengan efisien. Proses perancangan, pembuatan dan pengujian mesin pengeringan beku vakum dengan panas buang kondenser dilakukan di Lab Refrigerasi Departemen Teknik Mesin UI. Mesin pengeringan beku vakum yang dirancang dan dibuat terdiri dari Ruang Uji (terdapat wadah meletakkan material, pemanas atas dan bawah) dan Ruang Evaporator (Sistem refrigerasi). Penelitian ini menghasilkan alat pengering beku pembekuan vakum dengan pemanasan kondensator dengan tekanan kerja -1 hingga 3 milibar, suhu ruang chamber mencapai minus atau dibawah 0°C, suhu kondensator mencapai 35°C. Pada proses pengeringan yang tidak menggunakan pemanasan kondensator maka waktu terselesaikannya proses sublimasi selama 13 jam dan didapatkan nilai LOD sebesar ± 98,6 % sedangkan pada proses pengeringan yang menggunakan pemanasan kondensator maka waktunya menjadi 6,5 hingga 7 jam dan didapatkan nilai LOD sebesar ± 95,6 %.*

**Katakunci:** *aloe vera, freeze drying, vacuum freeze*

## PENDAHULUAN

Setiap tahun Kalimantan Barat mengeksport lidah buaya segar ke luar negeri dan pada saat yang sama industri dalam negeri mengimpor serbuk lidah buaya yang dihasilkan dengan proses pengeringan beku lidah buaya dari luar negeri. Jika dapat dihasilkan mesin pengering beku di dalam negeri, maka lidah buaya yang menjadi produk andalan Kalimantan Barat dapat diproses di dalam negeri untuk menghasilkan serbuk lidah buaya sehingga tidak lagi diperlukan ekspor lidah buaya segar dan impor lidah buaya serbuk dari luar negeri. Untuk mencapai tujuan jangka panjang ini maka diperlukan suatu penelitian yang dapat menghasilkan mesin pengering beku yang dapat memproduksi serbuk lidah buaya dengan efisien.

### 1.2 Teori

#### Pengeringan Beku

Pengeringan beku telah dikenal dan diakui sebagai metode pengeringan yang dapat memberikan mutu hasil pengeringan paling baik dibandingkan metode pengeringan lainnya [1], [2], [3]. Keunggulan produk hasil pengeringan beku antara lain adalah struktur yang tidak mengkerut sehingga memungkinkan rehidrasi yang sangat cepat, retensi flavor yang tinggi karena pengeringan berlangsung pada suhu rendah, serta daya hidup dan rekonstitusi sel-sel hidup pada produk kering-beku tetap tinggi. Pengeringan beku sangat dikenal pada proses liofilisasi (lyophilization) produk [4], [5].

Pengeringan beku telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Shishegarha (2002) melakukan pengeringan beku untuk produk strawberry [6]. Pengeringan beku untuk produk lain juga telah dilakukan oleh peneliti lain : Tambunan

(2001) melakukannya untuk bahan pangan berbentuk pasta [7], Carapelle *et*

*al* (2001) untuk kertas [4], Liu (2001) untuk liposome, Irzyniec *et al* (1995) untuk *black currant juice*, Grabowski *et al* (2002) untuk Cranberries dan Sagara (1984) untuk konsentrat larutan kopi [8]. Shishegarha (2002) mendapatkan bahwa waktu dehidrasi bertambah secara proporsional dengan ketebalan produk dan berkurang terhadap suhu plat pemanas. Selain itu juga didapatkan bahwa pada suhu lebih besar dari 50°C, kemungkinan terjadinya *collaps*, yaitu gagalnya proses pengeringan beku karena adanya bagian yang mencair, bertambah besar [6].

Pengeringan beku meskipun merupakan proses pengeringan terbaik, mempunyai kelemahan berupa laju pengeringan yang lambat [1], [2], [3]. Hal ini disebabkan panas dari atas, yang akan digunakan untuk sublimasi, harus dirambatkan melalui lapisan kering produk. Lapisan kering produk yang berstruktur rongga (porous) mempunyai konduktivitas yang sangat rendah, sehingga penghantaran panas ke permukaan sublimasi sangat rendah. Penelitian pengeringan beku dengan pemanasan dari atas ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, pengeringan bahan herbal [7], pengeringan durian [9], dan pengeringan larutan kopi [10]. Selain itu sejumlah peneliti juga telah melakukan berbagai kajian yang berkaitan dengan optimalisasi proses [11] dan kajian perpindahan panas dan massa selama proses [8], [12].

Pada penelitian Cheng *et al.* (2002), telah dilakukan analisa pemanasan dari bawah untuk memperbaiki efisiensi perambatan panas ke lapisan sublimasi, tetapi penelitian ini belum sampai pada tahap pengujian dengan pemanasan dari

bawah. Penelitian Cheng et al (2002) menekankan pada analisa matematisnya saja [12]. Belyamin (2008) melakukan penelitian pengeringan beku dengan pemanfaatan pembekuan vakum dan pemanasan dari bawah dan mendapatkan bahwa pemanfaatan pembekuan vakum dapat menghemat pemakaian energi sebesar 10,4% dan pemanasan dari bawah dapat menghemat pemakaian energi sebesar 14% dibandingkan pemakaian energi pengeringan beku konvensional dengan lempeng sentuh. Belyamin (2008) memberikan panas untuk sublimasi dari panas air yang dipanaskan dengan pemanas listrik [13]. Pada penelitian ini sumber panas akan dialihkan pada pemanfaatan panas terbuang dari kondenser sehingga diharapkan pemakaian energinya dapat makin dikurangi lagi.

Tambunan (2001) melakukan pengeringan dengan siklus tekanan dan mendapatkan bahwa lama pengeringan ditentukan oleh tekanan pengering selain oleh suhu permukaan produk. Jika tekanan naik dan laju pembekuan juga naik maka waktu pengeringan primer dan waktu pengeringan sekunder turun [7]. Xiang (2004) menyatakan suhu pengering mempunyai pengaruh yang besar terhadap laju sublimasi. Suhu pengering yang tinggi menyebabkan laju sublimasi yang juga tinggi. Xiang (2004) melakukan penelitiannya pada tekanan pengering 4 dan 133 Pa [14].

Sejumlah peneliti juga telah melakukan berbagai kajian yang berkaitan dengan optimasi proses [4], [11], kajian perpindahan panas dan massa selama proses [8], [12], [15], kajian mutu hasil pengeringan [16], [7], [2], dan lain-lain. Disamping itu, Araki, et al. (2001) melakukan kajian yang lebih mendalam terhadap proses pembekuan yang mengawali proses pengeringan beku tersebut [10]. Dalam kajian tersebut

dilakukan penentuan titik beku larutan kopi dan mobilitasnya berdasarkan metode Differential Scanning Calorimeter (DSC). Belyamin (2008) melakukan penelitian dengan pengeringan beku pembekuan vakum tetapi dengan menggunakan panas untuk sublimasi dari pemanas [13]. Pada penelitian ini panas yang digunakan akan diambil dari panas terbuang dari kondenser.

### **Pembekuan Vakum**

Kinetika pengeringan beku dipengaruhi oleh laju pembekuan dan laju perpindahan panas dan massa selama proses sublimasi. Disamping sangat berperan dalam menentukan kinetika pengeringan, pembekuan merupakan salah satu tahap pengeringan beku yang sangat intensif energi. Oleh sebab itu, pencarian metode yang lebih tepat merupakan salah satu upaya yang sangat diperlukan. Proses pembekuan untuk pengeringan beku dapat dilakukan dengan metode lempeng sentuh, semburan udara, atau pemanfaatan bahan *cyogenic*, seperti nitrogen cair. Salah satu metode pembekuan yang jarang diterapkan, tetapi prospektif, adalah pembekuan vakum [4]. Pada pembekuan vakum ini, efek pembekuan diperoleh dengan penguapan sebagian air bahan pada kondisi ruang bertekanan rendah. Penguapan ini memerlukan panas laten yang diambil dari produk, sehingga produk tersebut mengalami penurunan suhu bahkan sampai akhirnya membeku. Dalam hal ini efek pembekuan bukan karena perpindahan panas dari bahan ke media pembeku, tetapi karena pelepasan panas laten penguapan. Dengan demikian, energi yang dibutuhkan untuk proses pembekuan produk ini adalah energi untuk penurunan tekanan ruang pembekuan.

Beberapa penelitian telah dilakukan diantaranya penelitian pembekuan

vakum [17], [9] dan penelitian konsumsi energi pengeringan beku bahan biologik [18]. Pada penelitian terdahulu didapatkan laju pembekuan vakum udang windu berkisar pada 3,91 cm/jam, 4,49 cm/jam dan 7,23 cm/jam. Pembekuan ini tergolong pembekuan cepat sehingga kristal es yang terbentuk kecil. Kristal es yang kecil ini dapat mengurangi kerusakan sel produk. Selain itu pada penerapan metode pembekuan vakum untuk durian, didapatkan bahwa pembekuan vakum menghasilkan kandungan protein yang lebih tinggi dibanding pembekuan lempeng sentuh [9]. Penelitian lain menyatakan bahwa keunggulan sistem vakum terletak pada proses pengolahannya. Dengan sistem pembekuan vakum, proses pembekuan mengurangi kemungkinan penularan penyakit, selain menyebabkan pembekuan lebih cepat [19]. Hasil-hasil yang telah diperoleh, antara lain, ditunjukkan dalam bentuk perbandingan laju pembekuan vakum dengan pembekuan lempeng sentuh, dan pengaruh tekanan operasi terhadap suhu berbagai produk yang dibekukan. Terkait dengan ini, Krokida et al (1998) dan Irzyniec et al (1996) mendapatkan pengeringan beku dengan pembekuan vakum merupakan metode pengurangan kadar air terbaik yang menghasilkan produk dengan kualitas tertinggi. Metode pengeringan beku ini juga digunakan secara luas untuk menghasilkan kopi instan berkualitas (Sagara dan Ichiba, 1998).

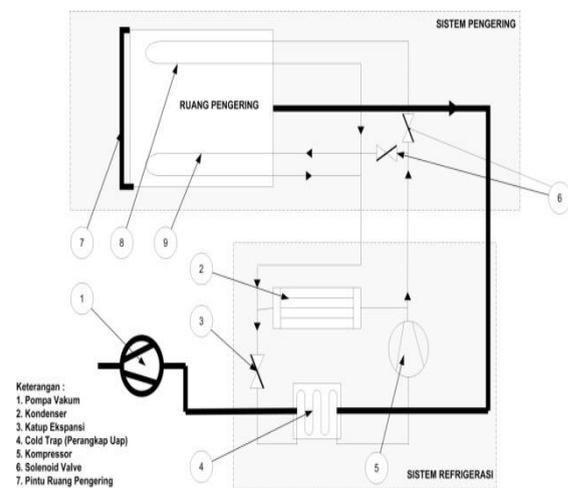
Pengembangan metode pembekuan vakum untuk produk-produk pertanian telah dilakukan oleh [20], Rochanah (2001), [21] dan [17]. Pembekuan vakum ini diterapkan pada produk produk berupa jus jeruk dan pulp markisa pada berbagai konsentrasi, dan udang windu.

## METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat mesin pengeringan beku vakum

Proses perancangan, pembuatan dan pengujian Mesin pengeringan beku vakum dengan panas buang kondenser dilakukan di Lab Refrigerasi Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Mesin pengeringan beku vakum yang dirancang dan dibuat terdiri dari 2 komponen utama, yaitu Ruang Uji/*Chamber* (didalamnya terdapat wadah meletakkan material, pemanas atas dan bawah) dan Ruang Evaporator/*Cold Trap* (Sistem refrigerasi)

Gambar pengering beku secara skematis ditunjukkan dengan Gambar 1.



Gambar 1. Susunan skematik pengering beku

Komponen Total pengeringan beku vakum dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. Mesin Pengering Beku  
Bagian-bagian utama mesin pengering beku adalah sebagai berikut :

### **Ruangan Chamber**

Ruangan Chamber pada mesin pengering Beku ini adalah bagian dimana meletakkan spesimen percobaan. Dalam ruangan ini terjadi pemanasan oleh pemanas Kondenser pada bagian atas dan bawah. Dalam ruangan ini tekanan rendah dikarenakan ditarik oleh mesin vakum dimana tujuannya agar menurunkan temperatur dari spesimen yang dalam hal ini digunakan aloe vera

### **Cold Trap**

Dalam Ruang Cold Trap ini udara campuran dengan kandungan air akan masuk. Air akan ditangkap oleh evaporator sehingga udara yang masuk mesin vakum akan benar-benar udara kering.

### **Refrigeration Unit**

Sistem refrigrasi untuk mengkondensasikan uap pada perangkat uap dan untuk membekukan sampel ketika pengering beku ini menggunakan mode pembekuan lempeng sentuh.

Peralatan pendukung untuk mesin pengeringan beku ini adalah Pompa vakum dengan tekanan *ultimate* (tekanan kerja)  $6.7 \cdot 10^{-2}$  Pa.

## **2.2 Pengujian Mesin pengeringan beku vakum**

Pengujian alat mesin pengeringan beku vakum dilakukan dengan menggunakan skema seperti pada gambar 1, data yang diambil dalam pengujian ini adalah data tekanan dan suhu pada tiap detik.

## **2.3 Prosedur Pengujian**

Prosedur pengujian pada penelitian ini dibedakan antara prosedur pada alat pengeringan beku vakum dan pada material aloe vera.

### **2.3.1 Prosedur pengujian pada Material Aloe vera**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian material aloe vera adalah sebagai berikut:

1. Pengupasan lidah buaya segar.
2. Pembersihan lendir/getah yang ada pada daging lidah buaya.
3. Penimbangan seluruh daging lidah buaya segar yang didapat dari satu pelepah segar.
4. Pematangan daging lidah buaya menjadi dadu kurang lebih 1 cm<sup>3</sup>
5. Pembersihan lidah buaya ukuran dadu dengan memanasnya dengan air suhu 70°C selama 10 menit.
6. Potongan dadu tersebut ada yang langsung masuk ke proses pengeringan beku dengan ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat awal ada yang masuk ke proses pembekuan
7. Lidah buaya yang sudah diblansir kemudian diblender.
8. Lidah buaya yang sudah diblender kemudian di tempatkan dalam sebuah wadah dan ditimbang

9. Setelah dimasukan di dalam chamber pengeringan beku, 3 thermocouple diletakan pada lidah buaya (posisi atas dan bawah untuk thermocouple cair dan posisi bawah untuk thermocouple persegi)

### 2.3.2 Prosedur pengujian pada mesin pengeringan beku vakum

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian mesin pengeringan beku vakum adalah sebagai berikut:

1. Hidupkan sistem pengukuran *National Instrument*
2. Hidupkan sistem refrigerasi (*cold trap*) dan tunggu sampai suhu evaporator kurang dari  $-25^{\circ}\text{C}$
3. Setelah *cold trap* mencapai suhu kurang dari  $-25^{\circ}\text{C}$ , hidupkan Pompa Vakum
4. Menunggu proses pembekuan berlangsung sampai suhu dibawah  $0^{\circ}\text{C}$  (dibawah triple Point)
5. Setelah proses pembekuan berlangsung untuk fase selanjutnya adalah fase sublimasi dengan membuka katup pemanas dari panas buang kondenser.
6. Atur suhu pemanas atas pada suhu  $35^{\circ}\text{C}$  dan suhu bawah  $28^{\circ}\text{C}$  atau sebaliknya
7. Menunggu proses sublimasi selesai yang berarti selesai juga proses pengeringan, ditandai dengan suhu material sama dengan suhu ruangan chamber (pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  sampai  $28^{\circ}\text{C}$ ) atau sampai RH meter menunjukkan angka dibawah 25% bahkan bisa mendekati 0%
8. Jika sudah menunjukkan hal seperti no 7 maka proses pengeringan selesai dan dilanjutkan dengan penimbangan massa akhir dari aloe vera (lidah buaya)

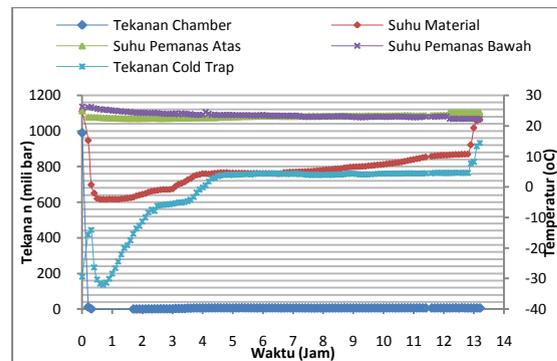
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Pengeringan Dengan Material Aloe vera

Hasil pengeringan pada penelitian ini dibedakan menjadi 3 kategori yaitu hasil material dari pengujian karakteristik (lidah buaya cair dan Persegi), hasil lidah buaya dengan variasi suhu pemanas atas lebih tinggi dari pada suhu pemanas bawah, dan hasil lidah buaya dengan variasi suhu pemanas bawah lebih tinggi daripada temperaur pemanas atas.

#### 3.1.1 Hasil Pengujian I

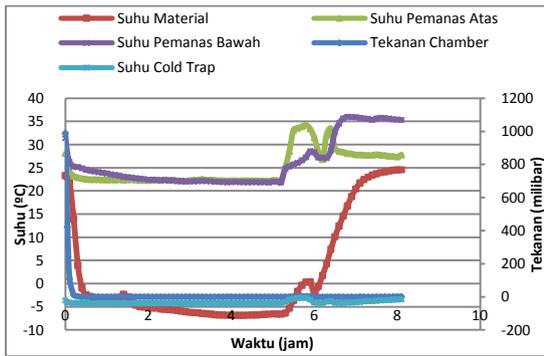
Berikut adalah data hasil pengujian pengeringan 45 gram aloe vera tanpa pemanas. Kondensor pada bagian atas dan bawah tidak diaktifkan dengan cara tetap menutup katup pemanas dari panas buang kondensor sehingga kedua kondensor tersebut tidak menghasilkan panas.



Gambar 3. Grafik Profil Suhu dan Tekanan Selama Pengeringan Pengujian I

#### 3.1.2 Hasil Pengujian II

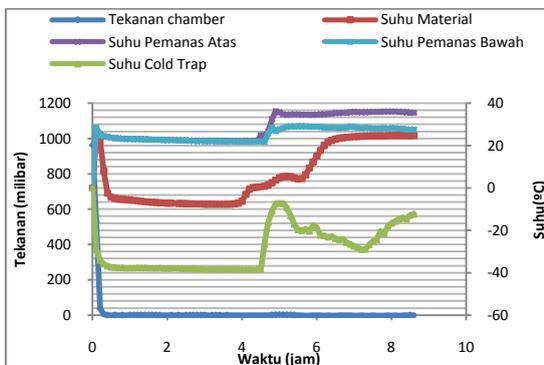
Berikut adalah data hasil pengujian pengeringan 90 gram aloe vera dengan suhu pemanas bawah lebih tinggi dari suhu pemanas atas. Panas yang dihasilkan oleh kondensor bagian bawah ditetapkan pada suhu yang lebih tinggi dari kondensor pada bagian atas. Suhu yang dihasilkan oleh kondensor bagian bawah adalah  $35^{\circ}\text{C}$  sedangkan suhu kondensor bagian atas adalah  $28^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 4. Grafik Profil Suhu dan Tekanan Selama Pengeringan Pengujian II

### 3.1.3 Hasil Pengujian III

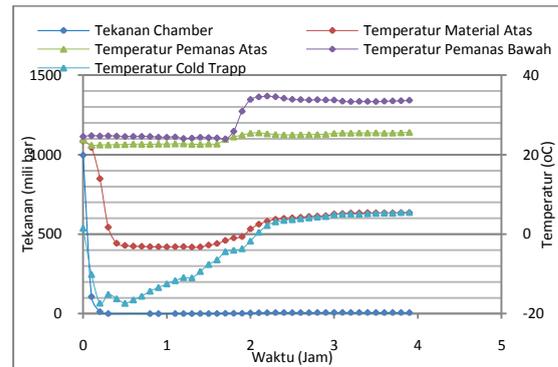
Berikut adalah data hasil pengujian pengeringan 90 gram aloe vera dengan suhu pemanas atas lebih tinggi dari suhu pemanas bawah. Panas yang dihasilkan oleh kondensor bagian atas ditetapkan pada suhu yang lebih tinggi dari kondensor pada bagian bawah. Suhu yang dihasilkan oleh kondensor bagian bawah adalah 28°C sedangkan suhu kondensor bagian atas adalah 35°C.



Gambar 5. Grafik Profil Suhu dan Tekanan Selama Pengeringan Pengujian III

### 3.1.4 Hasil Pengujian IV

Berikut adalah data hasil pengujian pengeringan 82 gram aloevera dengan suhu pemanas atas lebih tinggi dari suhu pemanas bawah. Panas yang dihasilkan oleh kondensor bagian atas ditetapkan pada suhu yang lebih tinggi dari kondensor pada bagian bawah. Suhu yang dihasilkan oleh kondensor bagian bawah adalah 28°C sedangkan suhu kondensor bagian atas adalah 35°C.



Gambar 6. Grafik Profil Suhu dan Tekanan Selama Pengeringan Pengujian IV

## 3.2 Pembahasan

Dari data hasil pengujian selama pengeringan dilakukan didapatkan bahwa:

9. Rancang bangun alat pengering beku pembekuan vakum dengan pemanasan kondensor telah berhasil. Hal ini dibuktikan dengan tekanan kerja selama pengujian dapat mencapai -1 hingga 3 milibar selain itu pula suhu ruang chamber mencapai minus atau dibawah 0°C. Kondensor juga dapat menghasilkan panas dengan suhu kondensor yang dapat mencapai 35°C.
10. Hasil pengeringan Lidah buaya cair dan lidah buaya persegi  
Terdapat perbedaan kondisi lidah buaya cair dan lidah buaya persegi sebelum pengeringan dan sesudah pengeringan. Sebelum pengeringan material lidah buaya cair mempunyai berat 77,26 g dan yang berbentuk persegi mempunyai berat 55,26 g. Setelah proses pengeringan berat lidah buaya yang berbentuk cair mempunyai berat 0,95 g dan lidah buaya yang berbentuk persegi mempunyai berat 0,76 g. Sehingga pengurangan material lidah buaya cair (Loss On Drying / LOD) adalah 98,7% sedangkan untuk lidah buaya persegi adalah 98,6%.
11. Hasil pengeringan aloevera tanpa pemanas dari kondensor.

Pada pengujian ini kondensator tidak menghasilkan panas karena katup pemanas dari panas buang kondensator ditutup. Dengan tidak adanya pemanas tambahan dari kondensator menyebabkan waktu terselesaikannya proses sublimasi yang juga berarti selesainya proses pengeringan menjadi lambat yaitu terjadi setelah 13 jam waktu pengeringan.

12. Hasil pengeringan lidah buaya cair dengan suhu pemanas atas lebih tinggi dari pada suhu bawah.

Suhu yang dihasilkan oleh kondensator bagian bawah adalah 28°C sedangkan suhu kondensator bagian atas adalah 35°C. Terdapat perbedaan kondisi untuk lidah buaya cair sebelum pengeringan dan setelah pengeringan. Lidah buaya cair dengan berat awal adalah 45 g dan hasil akhir dari pengeringan lidah buaya cair adalah 2 g sehingga pengurangan lidah buaya cair (Loss On Drying / LOD) adalah 95.6 %. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses sublimasi yang juga berarti selesainya proses pengeringan pada pengujian ini adalah ± 6,5 jam.

13. Hasil pengeringan lidah buaya cair dengan suhu pemanas bawah lebih tinggi dari suhu atas.

Suhu yang dihasilkan oleh kondensator bagian bawah adalah 35°C sedangkan suhu kondensator bagian atas adalah 28°C. Terdapat perbedaan kondisi sebelum pengeringan dan setelah pengeringan. Hasil pengeringan lidah buaya cair dengan berat awal adalah 45 g dan hasil akhir dari pengeringan lidah buaya cair adalah 2 g sehingga pengurangan lidah buaya cair (Loss On Drying / LOD) adalah 95.6 %. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan

proses sublimasi yang juga berarti selesainya proses pengeringan pada pengujian ini adalah ± 7 jam.

14. Hasil pengeringan lidah buaya cair dengan suhu pemanas bawah lebih tinggi dari suhu pemanas atas dengan digetarkan.

Hasil pengeringan lidah buaya cair dengan berat awal lidah buaya cair adalah 45 g dan hasil akhir dari pengeringan lidah buaya cair adalah 2 g sehingga pengurangan lidah buaya cair (Loss On Drying / LOD) adalah 95.6 %

## **KESIMPULAN**

Dari penelitian ini dapat disimpulkan:

15. Rancang bangun alat pengering beku pembekuan vakum dengan pemanasan kondensator telah berhasil. Hal ini dibuktikan dengan tekanan kerja selama pengujian dapat mencapai -1 hingga 3 milibar selain itu pula suhu ruang chamber mencapai minus atau dibawah 0°C. Kondensator juga dapat menghasilkan panas dengan suhu kondensator yang dapat mencapai 35°C.

16. Panas yang dihasilkan oleh kondensator mempengaruhi waktu selesainya proses sublimasi yang juga berarti selesainya proses pengeringan. Pada proses pengeringan yang tidak menggunakan pemanasan kondensator maka waktu terselesaikannya proses sublimasi selama 13 jam sedangkan pada proses pengeringan yang menggunakan pemanasan condenser maka waktu terselesaikannya proses sublimasi menjadi 6,5 hingga 7 jam.

17. Penggunaan pemanas kondensator juga mempengaruhi pengurangan lidah buaya cair (Loss On Drying / LOD). Pada proses pengeringan yang tidak menggunakan pemanas

kondensor didapatkan nilai LOD sebesar  $\pm 98,6$  % sedangkan pada proses pengeringan yang menggunakan pemanas kondensor didapatkan nilai LOD sebesar  $\pm 95,6$  %.

## TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Jakarta yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Dana Hibah Bersaing Politeknik Negeri Jakarta tahun 2010 No: 18/K7.B/SPK/2010.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Liapis, A.I., M.J. Pikal, R. Bruttini, 1996, Research and development needs and opportunities in freeze drying, *Drying Technology – An International Journal*, 14(6) : 1265-1300
- [2] Martinez-Soto, G., R.M. Myhara, Mahgoub, Z.H. Al-Attabi, and M.M. Al-Mugheiry, 2001, Effect of pretreatment and drying on the quality of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*), *Drying Technology – An International Journal*, 19(3&4) : 661-672
- [3] Horaczek A., Viernstein H., 2004, Comparison of three commonly used drying technologies with respect to activity and longevity of aerial conidia of *beauveria brongniartii* and *metarhizium anisopliae*. *Biological Control*, 31 : 65-71
- [4] Carapelle, A., Henriest, M., Rabecki F., 2001, A Study of Vacuum Freeze Drying of Frozen Wet Paper, *Drying Technology – An International Journal*, 19(6) : 1113-1124
- [5] Hua, Z.Z., B.G. Li, Z.J.Liu, D.W.Sun, 2003, Freeze drying of Lyposomes with Cryopectants and Its Effect on Retention Rate of Encapsulated Ftorafur and vitamin A, *Drying Technology – An International Journal*, 21(8) : 1491-1505
- [6] Shishegarha, F.,Makhlouf, J.,Ratti, C., 2002, Freeze-drying characteristics of Strawberries. *Drying Technol. J.*, 20(1) : 131-145.
- [7] Tambunan, A.H., Yudistira, Kisdiyani, Hernani, 2001, Freeze drying characteristics of medicinal herbs, *Drying Technology – An International Journal*, 19(2) : 313-324
- [8] Sagara, Y., 2001, Structural models related to transport properties for the dried layer of food materials undergoing freeze-drying, *Drying Technology – An International Journal*, 19(2) : 281-296
- [9] Siregar, K., 2004, Kajian pengeringan beku dengan pembekuan vakum dan pemanasan terbalik untuk daging buah durian, [Tesis], Bogor, Sekolah Pasca Sarjana, IPB
- [10] Araki, T., R. Shirakashi, and Y. Sagara, 2001, Numerical simulation of freezing process of coffee solutions related to freeze-drying, *Proceedings Of ADC 2001, The 2<sup>nd</sup> Asian Oceanian Drying Conference*, Penang, Malaysia, August 20-22, 2001
- [11] Song, C.S., J.H. Nam, C.-J. Kim, S.T. Ro, 2002, A finite volume analysis of vacuum freeze drying processes of skim milk solution in trays and vials, *Drying Technology – An International Journal*, 20(2) : 283-385
- [12] Cheng, J., Z.R. Yang, H.Q. Chen, 2002, Analytical solutions for the moving interface problem in freeze drying with or without back heating, *Drying Technology – An International Journal*, 20(3) : 553-568
- [13] Belyamin., 2008, Kajian energi pengeringan beku dengan

- pembekuan vakum dan pemanasan dari bawah, [Disertasi], Bogor, Sekolah Pasca Sarjana, IPB
- [14] Xiang, J., Hey J.H., Liedtke, V., Wang D.Q., 2004, Investigation of freeze-drying sublimation rates using a freeze-drying microbalance technique, *Int.J. Pharm.*, 279 : 95-105
- [15] Farihal, J., Farid, M., 2003, Analysis of Heat and Mass Transfer in Freeze Drying, *Drying Technology – An International Journal*, 21 (2) : 249-261
- [16] Mishra, V.K., B. Ooraikul, and F. Temeli, 1996, Physical characterization and water sorption of freeze-dried dulce *palmaria palmate* powder, *J. of Food Processing and Preservation*, 20 : 25-39
- [17] Zainuddin, I., 2003, Rancang bangun peralatan dan analisis karakteristik pembekuan vakum udang windu, [Tesis], Bogor, Sekolah Pasca Sarjana, IPB
- [18] Sutanto YN. 2004. Konsumsi energi radiasi pada proses pengeringan beku berbagai bahan biologik [skripsi]. Bogor. Institut Pertanian Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian.
- [19] Tambunan, A.H., 2000, Faktor-faktor yang mempengaruhi laju pembekuan vakum bahan pangan cair, *Buletin Keteknikan Pert.* 14(3): 201-209
- [20] Tambunan, A.H., L.P. Manalu, 2000, Mekanisme pengeringan beku produk pertanian, *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, BPPT, 2(3) : 66-74
- [21] Wulandani, D., A.H. Tambunan, L.O. Nelwan, E. Hartulistiyoso, 2002, Pengembangan metode pembekuan vakum untuk produk pangan, Laporan Penelitian Hibah Bersaing.