

Perancangan *Freeze Vacuum Drying* Menggunakan *Thermal Energy Storage* untuk Mengeringkan Lidah Buaya dengan Kapasitas 4 kg

Berriansyah Cipta NST¹, Wulan Cahyati², Warits Adriyandy², Rahmat Iman Mainil², Awaludin Martin^{2*}

¹Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Kota Pekanbaru, 28293, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Kota Pekanbaru, 28293, Indonesia

*Corresponding author: awaludinmartin01@gmail.com

Abstract

Freeze vacuum drying is known as the best drying method in maintaining the quality of nutrition and the physical appearance of the product. However, this method has the disadvantages of slow drying rates and high energy consumption. This research aims to improve the efficiency of the drying process by utilizing waste heat from the condenser using a thermal energy storage system using Phase Change Material (PCM) in the form of paraffin wax to capture and store condenser exhaust heat, so that it can be reused in the drying process. This research uses the system design method, then it is made and which is continued to the testing stage. The drying process consists of three stages, namely freezing, primary drying, and secondary drying, with the secondary drying process lasting for 7 hours. The result of the design of the tube diameter used is 0.00953 m, then the evaporator dimensions with a pipe length of 23 m are obtained, and the evaporator surface area is $7.13 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. For condensers, the pipe length is 15.9 m, and the heat transfer area of the condenser is 0.4762 m². The performance of the system is supported by the effectiveness of the evaporator by 76.1% and the effectiveness of the condenser by 67.9%. The total electrical energy consumption in the test with a load of 4 kg of aloe vera using TES was recorded at 8,937 kWh. These results show that the use of PCM-based TES of paraffin wax is able to improve the energy efficiency and performance of the freeze vacuum drying system, with a design Coefficient of Performance (COP) value of 3.8 and an actual COP of 2.5.

Keywords: *Freeze vacuum drying, thermal energy storage, paraffin wax*

Abstrak

Freeze vacuum drying dikenal sebagai metode pengeringan terbaik dalam menjaga kualitas nutrisi dan tampilan fisik produk. Namun, metode ini memiliki kelemahan berupa laju pengeringan yang lambat dan konsumsi energi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan meningkatkan efisiensi proses pengeringan dengan memanfaatkan limbah panas dari kondensor menggunakan sistem penyimpanan energi termal menggunakan Phase Change Material (PCM) berupa paraffin wax untuk menangkap dan menyimpan panas buang kondenser, sehingga dapat dimanfaatkan kembali pada proses pengeringan. Penelitian ini menggunakan metode perancangan sistem, kemudian dibuat dan yang dilanjutkan ke tahap pengujian. Proses pengeringan terdiri dari tiga tahap, yaitu freezing, primary drying, dan secondary drying, dengan proses secondary drying berlangsung selama 7 jam. Hasil desain diameter tube yang digunakan yaitu 0,00953 m, lalu didapatkan dimensi evaporator dengan panjang pipa 23 m, dan didapatkan luas permukaan evaporator $7,13 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Untuk kondensor, panjang pipa 15,9 m, dan luas perpindahan kalor kondensor 0,4762 m². Kinerja sistem didukung oleh efektivitas evaporator sebesar 76,1% dan efektivitas kondensor sebesar 67,9%. Konsumsi energi listrik total pada pengujian dengan beban 4 kg lidah buaya menggunakan TES tercatat sebesar 8,937 kWh. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan TES berbasis PCM paraffin wax mampu meningkatkan efisiensi energi dan kinerja sistem pengering beku vakum, dengan nilai Coefficient of Performance (COP) desain 3,8 dan COP aktual 2,5.

Kata kunci: *Freeze vacuum drying, thermal energy storage, paraffin wax, Coefficient of Performance*

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, termasuk tumbuhan berpotensi obat yang belum banyak dikembangkan. Salah satunya adalah lidah buaya, yang dikenal memiliki manfaat

seperti anti inflamasi, antijamur, antibakteri, dan regenerasi sel [1]. Lidah buaya merupakan komoditas pertanian unggulan Kalimantan Barat sejak tahun 2008, yang awalnya hanya ditanam untuk kebutuhan rumah tangga [2]. Tanaman lidah buaya

Kalimantan Barat memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi berbagai produk bernilai tambah. Sayangnya, pemanfaatan tanaman lidah buaya di Indonesia saat ini masih belum maksimal. Sebagian besar tanaman lidah buaya yang dihasilkan hanya diekspor dalam bentuk pelepah segar ke negara tetangga seperti Singapura, Malaysia, dan Brunai Darussalam. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia belum mampu mengoptimalkan nilai tambah dari komoditas yang sangat berpotensi ini [3].

Pasaran harga tanaman lidah buaya dalam bentuk pelepah segar di Indonesia hanya berkisar Rp. 15.000/kg. Sedangkan harga tanaman lidah buaya bubuk mencapai Rp. 800.000/kg. Selisih harga yang sangat jauh dapat menjadi ide potensi pertambahan ekonomi. Sehingga untuk meningkatkan nilai keekonomian atau meningkatkan taraf hidup para petani tanaman lidah buaya, dibutuhkan teknologi yang dapat menambah nilai jual dari tanaman lidah buaya. Salah satu metode pengeringan yaitu pengering beku vakum [4]. Metode pengeringan ini dilakukan pada temperatur rendah sehingga mengurangi adanya kerusakan produk akibat temperatur tinggi, dan produk kering memiliki bentuk fisik yang menarik. Pada metode ini kandungan uap air dari produk dapat dikontrol selama proses, bahkan produk dapat dikembalikan seperti keadaan sebelum dikeringkan [5].

Pengeringan beku telah dikenal dan diakui sebagai metode pengeringan yang dapat memberikan mutu hasil pengeringan paling baik dibandingkan metode pengeringan lainnya [6]. Proses pengeringan ini tidak hanya menjaga tampilan fisik produk, tetapi juga mempertahankan kualitas nutrisi dan organoleptiknya. Tingkat kelembapan produk dapat dikontrol secara ketat, sehingga produk dapat dengan mudah dikembalikan ke kondisi aslinya ketika direhidrasi [7].

Beberapa penelitian telah mencoba melakukan kajian tentang pembekuan vakum, di antaranya adalah Januari dan Martin [8] telah melakukan pengeringan

beku vakum terhadap bengkuang hingga mengurangi kadar airnya sebesar 62%; Agustina dkk [9] yang memanfaatkan panas buang kondenser pada pengering beku vakum untuk pengeringan bengkuang; Martin dkk [10] menggunakan Evaporator dan Kondensor ganda dengan hasil mengurangi kadar air 12% dari 10 kg padi, temperatur rendah $-10,2^{\circ}\text{C}$, selama 6,5 jam; Martin dkk [11] Pengering Beku Vakum menggunakan *reverse valve* dengan hasil pengeringan massa padi 10 kg dapat mengurangi kadar air sebesar 76% selama 19 jam menggunakan refrigeran R-134a.

Pengering beku vakum yang merupakan proses pengeringan terbaik, namun mempunyai kelemahan berupa laju pengeringan yang lambat dan boros energi berupa panas buang dari kondenser [12]. Untuk mengatasi hal ini, maka diusulkan penyelesaian dengan menambahkan *thermal energy storage* untuk menangkap panas buang kondenser agar energi panas dapat dimanfaatkan ketika proses pengeringan berlangsung, sehingga proses pengeringan menjadi lebih cepat dan efisien.

Tahapan yang dilakukan pada pengeringan beku adalah pembekuan, penurunan tekanan dan pengeringan/sublimasi [13]. Pembekuan dilakukan dengan metode pembekuan vakum, pembekuan dan pengurangan tekanan dilakukan secara bersamaan [14]. Penurunan dilakukan terus sampai sampel membeku. Pada kondisi ini, kondenser membuang panas ke lingkungan, sehingga muncul inovasi untuk memanfaatkan panas buang kondenser dengan menangkap energi panas tersebut menggunakan *thermal energy storage*. Dengan cara ini diharapkan panas buang kondenser dapat dimanfaatkan dengan baik, Karena panas buang yang telah tertangkap *thermal energy storage* akan ditambahkan ke chamber agar proses pemanasan menjadi lebih maksimal.

Kedua hal ini menjadi subyek penelitian dengan sasaran khusus merancang bangun *thermal energy storage* jenis material berubah fasa *Phase Change Material* (PCM) *paraffin wax* untuk

menangkap dan menyimpan panas buang kondenser pada mesin pengering beku vakum.

Berdasarkan latar belakang ini maka tujuan yang ingin dicapai yaitu merancang pengering beku vakum dan *thermal energy storage* dengan massa tanaman lidah buaya 4 kg. Menghitung konsumsi energi listrik pengering beku vakum. Kemudian Menghitung unjuk kerja mesin pengering beku vakum hasil desain dan aktual sesudah penambahan *thermal energy storage*.

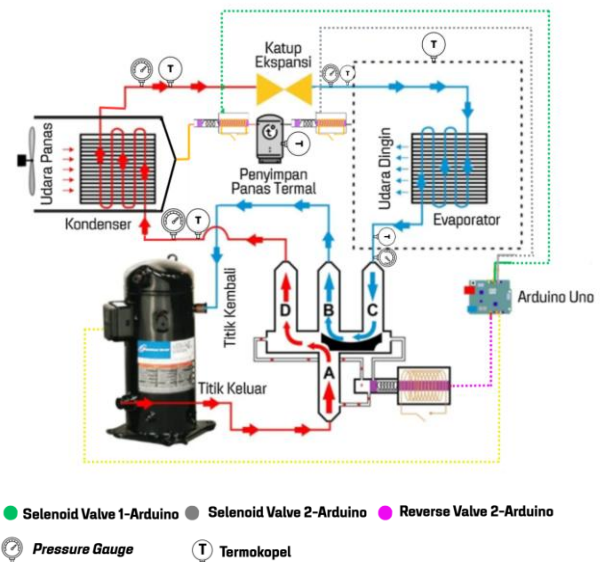
2. Metode Penelitian

Metode penelitian perancangan *freeze vacuum drying* diawali dengan studi literatur untuk menentukan parameter yang dibutuhkan, meliputi parameter perancangan awal dan parameter yang akan dicari. Setelah itu, mengidentifikasi permasalahan yang ada untuk memenuhi tujuan perancangan atau merumuskan permasalahan yang muncul selama proses perancangan. Setelah itu, hasil yang diperoleh disatukan dan dianalisis untuk mendapatkan beberapa simpulan. Perancangan *freeze vacuum drying* dengan *thermal energy storage* (TES) terdiri dari perancangan beban pendinginan evaporator, beban pemanasan kondensator, daya kompresor, panjang pipa kapiler.

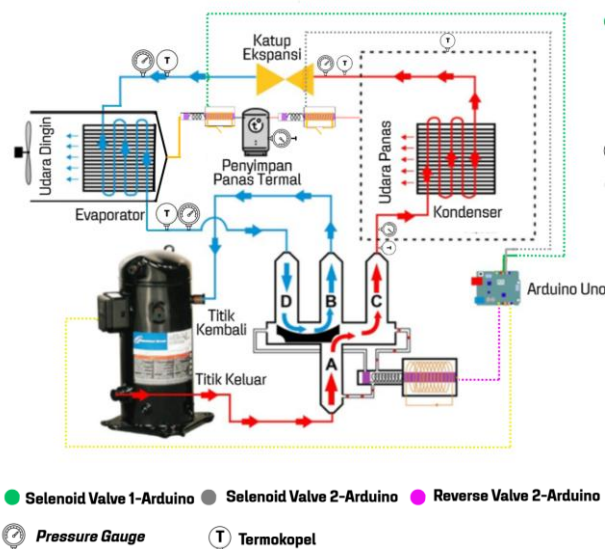
Pengeringan beku vakum dilakukan pada temperatur rendah, kemudian divakumkan kemudian dikeringkan dengan mengubah air yang sudah menjadi es langsung menjadi uap sehingga mengurangi adanya kerusakan produk akibat temperatur tinggi, dan produk kering memiliki bentuk fisik yang menarik [15].

Pada siklus pendinginan refrigeran mengalir dari kompresor kemudian menuju *reverse valve*, lalu menuju kondensator yang melepas kalor, selanjutnya menuju katup ekspansi dan *chamber*. Pada saat ini *chamber* berfungsi sebagai evaporator yang memberi udara dingin kepada produk. Refrigeran tadi lanjut menuju *reverse valve* dan kembali ke kompresor. *Thermal energy storage* melakukan proses *charging* dengan membuka *solenoid valve* 1 dan menutup

solenoid valve 2. Setelah temperatur pendinginan tercapai dilanjutkan ke siklus pemanas yang dapat dilihat pada gambar 2. Siklus *freeze vacuum drying* dengan menambah *thermal energy storage* dapat dilihat dari gambar 1.



Gambar 1 Skematik Siklus Pendinginan dan *Charging* TES



Gambar 2 Skematik Siklus Pemanasan dan *Discharging* TES

Pada siklus pemanasan refrigeran mengalir dari kompresor kemudian menuju *reverse valve*, lalu menuju *chamber* yang beralih fungsi menjadi kondensator yang melepas kalor kepada produk, selanjutnya menuju katup ekspansi, lalu ke evaporator, kemudian *reverse valve* dan kembali ke kompresor. *Thermal energy storage* melakukan proses *discharging* dengan

membuka *selenoid valve* 2 dan menutup *selenoid valve* 1.

Perancangan freeze vacuum drying ini menggunakan refrigeran R290 dengan asumsi sebagai berikut:

1. Temperatur pendinginan -20°C.
3. Temperatur Pemanasan 40°C.
4. Tekanan kompresor 15 bar.
6. Ketebalan dinding ruang FVD 6mm, 25mm dan 4mm masing-masing menggunakan baja karbon, busa *thermal armaflex* dan *aluminium foil*.
7. Beban pendinginan dan pemanasan dari daun lidah buaya 4 kg, beban kipas dan beban transmisi.
8. Beban total transmisi 22,79 W dan beban kalor pendinginan 1,35 kW.
9. Waktu pengeringan 8 jam.
10. Konduktivitas termal aluminium foil, thermal armaflex, dan baja karbon adalah 0,034 W/m²°C, 0,033 W/m²°C, dan 51,9 W/m²°C.

Setelah dilakukan perancangan melalui asumsi tersebut, kemudian dilanjutkan ke perancangan evaporator, kondensor, daya kompresor, dan panjang pipa kapiler berdasarkan persamaan dari tabel 1 [16].

Tabel 1. Parameter Perancangan

Parameter	Persamaan
Beban Pendinginan	$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{in} - T_{out})$
Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)	$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$
Koefisien Perpindahan Panas	$U = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$
Kecepatan rata-rata fluida	$v_m = \frac{\dot{m}}{\rho \times A_c}$
Bilangan Nusselt	$Nu = \frac{h \times D_h}{\nu}$ $= 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$
Luas Area Perpindahan Kalor	$A_s = \frac{Q}{U \times \Delta T_{lm}}$

2.1 Perancangan Outdoor Evaporator (Serpentine Heat Exchanger)

Berdasarkan parameter dari tabel 1, dilanjutkan ke merancang evaporator LTC,

menggunakan metode *log mean temperature difference* (LMTD). Data awal yang diketahui dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Awal yang Diketahui dari Asumsi

No	Parameter	Simbol	Nilai
1	Massa Daging		
	Tanaman Lidah Buaya	m	4kg
2	Kadar Air		
	Tanaman Lidah Buaya		95%
3	Temperatur Lingkungan	T_{∞}	32°C
4	Waktu Pengeringan	t	28.800s
5	Temperatur Akhir Produk	T_{akhir}	-20°C
6	Freeze Point	T	0°C
7	Massa Air yang Akan Dikeringkan	\dot{m}_{air}	3,6 kg
	Diameter pipa	d	0,00952m
9	Kalor spesifik udara (<i>Tool Cpudara Engineer</i>)		1,007kJ/kgK

Setelah dilakukan perhitungan dari data awal dan parameter hasil perancangan didapatkan panjang evaporator LTC 22,79 m.

2.1 Perancangan Outdoor Condenser (Serpentine Heat Exchanger)

Setelah panjang evaporator didapatkan dilanjutkan ke Perhitungan perancangan *outdoor condenser* menggunakan metode *log mean temperature difference* (LMTD). Data awal yang diketahui dapat dilihat pada tabel 3.

Setelah dilakukan perhitungan dari data awal dan parameter hasil perancangan didapatkan panjang kondensor 15,9m, jumlah fin sebanyak 88, dan luas permukaan fin 4,048m².

Tabel 3. Data Awal untuk Kondenser

No	Parameter	Simbol	Nilai
1	Density udara (<i>Tool Engineering</i>)	ρ	1,164kg/m ³
2	Laju aliran <i>refrigerant</i>	\dot{m}_{ref}	0,0058kg/s
3	Luas permukaan <i>tube</i>	A_{tube}	7,13 x 10 ⁻⁵ m ²
4	Diameter pipa	d	0,00952m
5	Viscosity dynamic udara (<i>Tool Engineering</i>)	ν_{udara}	1,608 x 10 ⁻⁵ m ² /s

2.3 Perancangan Pipa Kapiler

Setelah diketahui panjang tube pada evaporator, maka panjang pipa kapiler dapat ditentukan dengan bantuan perangkat lunak DanCap. Untuk melakukan perhitungan ini, diperlukan data seperti temperatur evaporasi, temperatur kondensasi, beban pendinginan, serta temperatur refrigeran yang kembali ke kompresor. Setelah dilakukan kalkulasi menggunakan DanCap didapatkan hasil panjang dan diameter pipa kapiler yang dibutuhkan adalah 1,95 meter dan 0,001.

2.4 Perhitungan *Coefficient of Performance*

Formula perhitungan *coefficient of performance* dapat dilihat pada tabel 4 [17].

Tabel 4. Parameter Perhitungan *Coefficient of Performance*

Parameter	Persamaan
Q_L	$h_1 - h_4$
Q_H	$h_2 - h_3$
W_{in}	$h_2 - h_1$
Q_{TES}	$m \times C_p \times \Delta T + m \times L$
COP	$\frac{Q_L + Q_H + Q_{TES}}{W_{cool} + W_{heat}}$

Berdasarkan perhitungan dari parameter tabel 4 didapatkan COP desain 3,8.

2.5 Perancangan *Thermal Energy Storage*

Menghitung *thermal energy storage* yaitu menghitung kebutuhan *paraffin wax* yang akan digunakan, dengan data awal yang diketahui sebagai berikut:

1. Kalor kondensor pada saat *freezing* 1857 W.
2. Waktu penangkapan kalor 2,5 Jam.
3. Kalor total 16.713 kJ

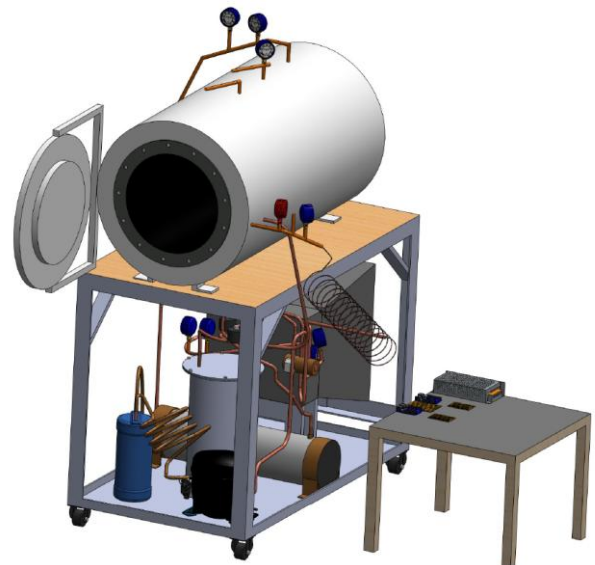
Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 5 [14].

Tabel 5. Parameter Perhitungan *Thermal Energy Storage*

Parameter	Persamaan
Massa <i>Paraffin Wax</i>	$Q = m \times C_p \times \Delta T + m \times L_f$
Volume Tabung <i>Thermal Energy Storage</i>	$Volume = \frac{m}{\rho}$
Dimensi Tabung <i>Thermal Energy Storage</i>	$V = \pi \times r^2 \times t$

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan massa *paraffin wax* sebagai bahan *thermal energy storage* 2,4 kg, jari jari tabung 55mm dan tinggi tabung 340mm.

Desain 3D dari *freeze vacuum drying* yang sudah dirancang berdasarkan dari parameter-parameter desain yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Desain 3D *Freeze Vacuum Drying*

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil perancangan sistem *freeze vacuum drying*, telah dilakukan perhitungan meliputi beban pendinginan sistem, siklus refrigerasi *carnot cycle*, luas permukaan pada evaporator dan kondensor, dan pipa kapiler. Rekapitulasi parameter perancangan beserta hasil perhitungan sistem refrigerasi *carnot cycle* ditampilkan pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Perancangan *Freeze Vacuum Drying*

No	Parameter	Nilai
1	Berat produk (m)	4 kg
2	Kadar air tanaman lidah buaya	95%
3	Temperatur lingkungan ($T_{initial}$)	32 °C
4	Freeze point (T_{fresh})	0°C
5	Temperatur akhir produk (T_m)	-6 °C
6	Waktu pengeringan	8 jam
7	Coefficient of Performance desain (COP)	6,45
8	Kebutuhan kompresor (W_{comp})	498W
9	Bahan tube evaporator dan condenser	Pipa Tembaga
10	Diameter tube evaporator dan condenser (d)	0,00953m
11	Panjang tube evaporator ($L_{evaporator}$)	23m
12	Panjang tube condenser ($L_{kondenser}$)	15,9m
13	Jumlah fin (Nfin)	88
14	Panjang pipa kapiler ($L_{pipa kapiler}$)	1,96m
15	Diameter tabung thermal energy storage	0,10m
16	Tinggi tabung thermal energy storage	0,0339m
17	Massa paraffin wax yang akan digunakan (m)	2,4kg

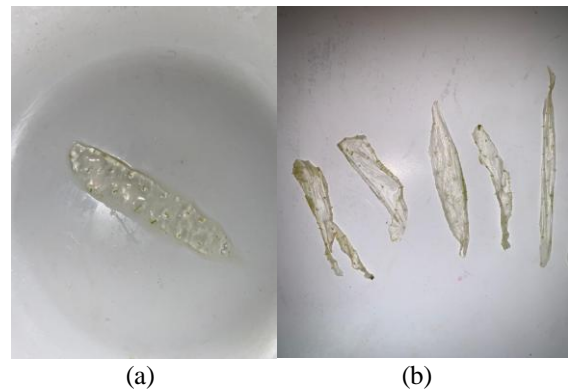
3.1 Pembahasan

Setelah dilakukan perancangan sistem *freeze vacuum drying* dan pembuatan alat, dilakukan pengujian sistem *freeze vacuum drying* untuk membandingkan hasil rancangan dan hasil pengujian. Salah satu sampel yang berhasil dikeringkan dapat dilihat pada gambar 5. Tampak sebelum dikeringkan masih terlihat basah dan tebal, kemudian setelah dikeringkan menjadi kering dapat tipis yang berarti kadar air dari lidah buaya sudah menguap.

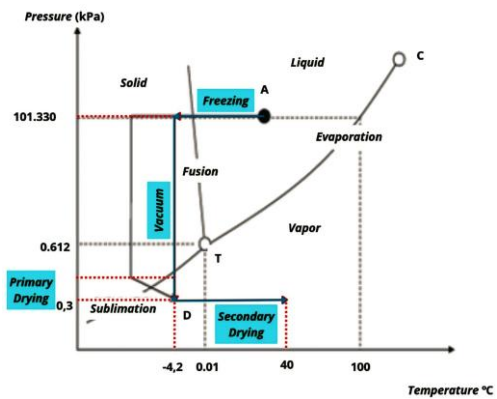
Pengujian dilakukan dengan beban daun lidah buaya 4kg menggunakan *thermal energy storage*. Pengujian menggunakan *thermal energy storage* dilakukan selama 14 jam. Untuk mengetahui fasa air lidah buaya dapat dilihat pada gambar 6.

Gambar 6 merupakan grafik diagram fasa air aktual selama proses pengujian berlangsung. Berdasarkan grafik yang telah disajikan pengujian yang telah dilakukan sudah sesuai dengan teori yang mana sudah melewati proses mulai dari pembekuan

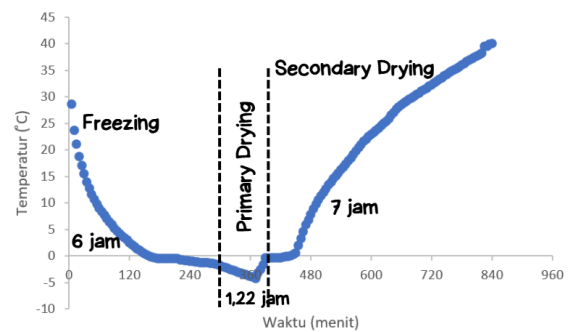
kemudian berjut pada *primary drying* yang juga dilakukan pemvakuman, serta pengeringan lanjut atau yang dikenal dengan *secondary drying*.



Gambar 4. Lidah Buaya (a) Sebelum Dikeringkan (b) Sesudah Dikeringkan



Gambar 5. Diagram Fasa Air



Gambar 6. Grafik Waktu vs Temperatur Pengujian 4 kg

Proses *freeze vacuum drying* terdiri dari tiga bagian yaitu *freezing*, *primary drying* dan *secondary drying*. Proses *freezing* terjadi diawal proses, yang terjadi yaitu molekul-molekul air yang berada dalam produk akan membentuk kristal es, seiring turunnya temperatur dalam *chamber* maka produk akan mengalami pembekuan

[9]. Selanjutnya yaitu *primary drying*, pada proses ini kondisi ruang *chamber* divakum sehingga menyebabkan produk yang membeku akan mengalami sublimasi pada tekanan 0,4 kPa atau tekanan yang lebih rendah (Gambar 6) [10]. Dan yang terakhir yaitu proses *secondary drying*. *Secondary drying* merupakan proses pengeringan yang lebih lanjut, yaitu sisa kandungan air dalam produk akan hilang pada proses ini [18]. Dan pada pengujian bermassa 4kg ini, proses *secondary drying* dilakukan selama 7 jam. COP (*Coefficient of Performance*) pada sistem refrigerasi *carnot cycle* digunakan untuk mengetahui seberapa efisien sistem yang dirancang. Nilai COP ini penting untuk menilai seberapa baik sistem bekerja, dari pengujian yang telah dilakukan, COP pengujian didapatkan sebesar 2,5. Nilai ini dihitung dengan menjumlahkan kalor yang diserap oleh beban pendinginan dan kalor yang dilepaskan pada sisi pemanasan, serta kontribusi kalor dari *Thermal Energy Storage* (TES), kemudian membaginya dengan kerja kompresor (Tabel 4). Kinerja sistem ini didukung oleh efektivitas evaporator sebesar 76,1% dan efektivitas kondensor sebesar 67,9%, yang menunjukkan bahwa proses perpindahan panas pada kedua komponen tersebut berlangsung cukup baik. Konsumsi daya listrik dari pengujian dengan beban daun lidah buaya 4kg menggunakan *thermal energy storage* yaitu sebesar 8,937 kWh.

4. Kesimpulan

Hasil perancangan menunjukkan bahwa evaporator memiliki panjang pipa 23 m, laju aliran refrigeran 0,0058 kg/s, dan koefisien perpindahan kalor keseluruhan 6,47 W/m²K, sementara kondenser memiliki panjang pipa 15,9 m, laju aliran udara 3,96342 kg/s, koefisien perpindahan kalor keseluruhan 13,388 W/m²K, jumlah fin 88, dan luas fin 4,048 m²; tabung *thermal energy storage* berdiameter 0,10 m dan tinggi 0,339 m dengan massa parafin 2,4 kg; panjang pipa kapiler 1,96 m dan kapasitas kompresor 498 W. Konsumsi energi untuk pengujian 4 kg lidah buaya dengan TES sebesar 8,937

kWh. COP desain sebesar 3,8, COP aktual dengan TES sebesar 2,5 dengan efektivitas evaporator 76,1% dan kondenser 67,92%. Penelitian selanjutnya disarankan penggunaan sistem pendingin bertingkat untuk mencapai temperatur yang lebih rendah.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi yang memberikan dukungan finansial pada Tahun Anggaran 2025 melalui skema Penelitian Tesis Magister dengan Nomor Kontrak Induk 102/C3/DT.05.00/PL/2025 dan Nomor Kontrak Turunan 19636/UN19.5.1.3/AL.04/2025

Referensi

- [1] Marhaeni, L. S. (2020). Potensi lidah buaya (*Aloe vera* Linn) sebagai obat dan sumber pangan. *AGRISIA: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 13(1), 32–39.
- [2] Sari, R., & Ferdinan, A. (2017). Pengujian Aktivitas Antibakteri Sabun Cair dari Ekstrak Kulit Daun Lidah Buaya Antibacterial. *Pharm Sci Res*, 4(3), 111–120.
- [3] Hidayati, R., Restapaty, R., & Sayakti, P. I. (2021). Pemberian Bahaya Radikal Bebas melalui Pengolahan Minuman Kesehatan Lidah Buaya pada Penghuni Rumah Yatim Ar-Rohmah Banjarbaru Kalimantan Selatan. *Mitra Mahqiana: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 170-176.
- [4] Setyadi, P., Rio, D. B., Setyawan, C. K., Tohir, A., & Faturhman. (2021). Perhitungan Efisiensi Energi Mesin Pengering Vakum pada Berbagai Temperatur (0,-5)° C dengan Kevakuman 0,03 Atm. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*, 202, 19–29.
- [5] Srinivasan, G., & Raja, B. (2020). Heat and mass transfer analysis on multiport mini channel shelf heat

- exchanger for freeze-drying application. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 45(1).
- [6] Yoviani, Nining. 2017. Nanoenkapsulasi Minyak Daun Jeruk Purut (*Citrus Hystrix*) dengan Matriks Starch Menggunakan Metode Freeze Drying. Yogyakarta: UII
- [7] Purnamasari, I., Fajar, R., & Sriyaya Negara Bukit Besar Palembang, J. (2020). Efisiensi Mesin Pengereng Beku Vakum pada Pengerengan Cabai Merah (*capsicum annum l.*) *Machine Efficiency of Vcuum Freeze Dryer in Red Chili (capsicum annum l.) Drying*. *Jurnal Kinetika*, 11(01), 1–8.
- [8] S. Januari, Awal; Martin, Awaludin. 2014. Pengerengan Bengkuang dengan Sistem Pengerengan Beku Vakum (Vacuum Freeze Drying System). Universitas Riau
- [9] Agustina, D., Dhewaji, R. D., & Martin, A. (2020). Pemanfaatan panas kondenser pada pengereng beku vakum. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 13(1), 32–36.
- [10] Martin, A., Simangunsong, N., & Ramadan, S. (2023). Rancang Bangun dan Pengujian Pengereng Beku Vakum untuk Pembenuhan Padi Menggunakan Evaporator dan Kondenser Ganda. *Seminar Nasional Program Profesi Insinyur - Universitas Andalas 27-29 Juli 2023*, 1, 176–181.
- [11] Martin, A., Hermanto, J., Agustina, D., Suriyanto, M. A., Putri, S. I., & Khotimah, N. (2024). Pengembangan Freeze Vacuum Drying Dengan Sistem Kendali Menggunakan Reverse Valve. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 13(2), 557–566.
- [12] Fadarina; Purnamasari Indah; Fajar Rahmad. 2020. Efisiensi Mesin Pengereng Beku Vakum pada Pengerengan Cabai Merah (*Capsicum annum L.*). Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [13] Prasetya, W., & Yastanto, A. J. (2023). Evaluasi Waktu Pengerengan pada Metode Freeze Drying terhadap Karakteristik Kacang Tanah, Bawang Putih dan Tomat Menggunakan Alat Labconco FreeZone 2.5 L. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(2), 100.
- [14] Rukmana, J., & Bindar, Y. (2017). Rancang Bangun Alat Pengereng dengan Sistem Pengerengan Gabungan Perpindahan Panas Tidak Langsung dan Vakum. 4(3), 208–214.
- [15] Setyadi, P., Rio, D. B., Setyawan, C. K., Tohir, A., & Faturohman. (2021). Perhitungan Efisiensi Energi Mesin Pengereng Vakum pada Berbagai Temperatur (0,-5)^o C dengan Kevakuman 0,03 Atm. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*, 202, 19–29.
- [16] Cengel, Yunus A dan Boles, Michael A. 2019. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. New York : McGraw-Hill
- [17] Cengel, Yunus A dan Boles, Michael A. 2019. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York : McGraw-Hill
- [18] Wardika, Fauzun, Setiawan, A., & Indriyanawati, D. (2021). The Effect of Suction Refrigerant Pressure Changes on the Performance of the Freeze-Drying System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1012(1).