

Experimental study of freeze vacuum drying with thermal energy storage for drying 2 kg of aloe vera

Dinni Agustina^a, Warits Adriyandy^a, Wulan Cahyati^a, Awaludin Martin^{a,1}

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293

¹Email korespondensi: awaludinmartin01@gmail.com

Abstract. One of the widely used post-harvest processing methods for aloe vera is drying, given its high water content. An effective drying method is vacuum freeze-drying, though it has a drawback in terms of energy efficiency. This research examines the use of paraffin wax as a Thermal Energy Storage (TES) medium to utilize waste heat from the condenser during the freezing phase in a vacuum freeze-drying system. The study results show that using TES consistently improves drying efficiency and energy savings. The system with TES removed more moisture than the test without TES, at 68% for a 2 kg load versus 58.57% without TES. In addition, the Coefficient of Performance (COP) for the system with TES was 2.23, higher than 2.08 without TES. The use of TES for 2 kg also resulted in an electrical energy saving of 259 Wh. Thus, TES in a vacuum freeze-drying system enhances energy efficiency, reduces power consumption, and improves aloe vera drying performance.

Keywords: pengering beku vakum, thermal energy storage, Coefficient of Performance

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/bp8zfz47>

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 antiinflamasi, antijamur, antibakteri, dan regenerasi sel [1]. Hasil lidah buaya dari Kalimantan Barat (Pontianak) banyak diekspor ke Hongkong, Singapura, Taiwan dan Korea Selatan serta Malaysia menunjukkan permintaan yang terus meningkat setiap tahunnya [2].

Tanaman lidah buaya merupakan tanaman yang fungsional karena semua bagian dari tanaman ini dapat dimanfaatkan, misalnya untuk perawatan rambut dan mengobati penyakit. Manfaat lainnya dari tanaman lidah buaya adalah anti-inflamasi, anti-jamur, antibakteri, untuk mengontrol tekanan darah, untuk regenerasi sel, dan juga sebagai nutrisi pendukung bagi penderita HIV. Tanaman lidah buaya banyak memiliki elemen yang dibutuhkan oleh tubuh manusia seperti vitamin, *choline*, inositol, asam folat, mineral, dan enzim. Bagian yang banyak dimanfaatkan adalah daging dari daunnya saja, sementara kulitnya yang memiliki senyawa alonin dan *aloe emodin* sering kali terbuang. Senyawa yang ada pada kulit tanaman lidah buaya tersebut memiliki kandungan anti bakteri yang dapat menjadi bahan pengawet alami [3]. Lidah buaya diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis seperti antiinflamasi, antibakteri, antioksidan, dan antidiabetes yang menjadikannya potensial sebagai bahan obat alami dan bahan fungsional dalam industri pangan dan kesehatan [4]. Aktivitas antibakteri lidah buaya berasal dari kandungan senyawa bioaktif seperti

saponin, tannin, dan flavonoid yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif dan Gram negatif [5].

Kandungan air yang cukup tinggi membuat tanaman lidah buaya harus segera diproses setelah panen. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan kandungan gizi, meskipun tanaman lidah buaya utuh yang belum dikupas dapat bertahan lebih dari 3 minggu dalam ruang simpan yang kering pada temperatur kamar. Tanaman lidah buaya juga dijual dalam bentuk pelepah segar dengan harga yang relatif rendah. Nilai tambah biasa dilakukan dengan membuatnya menjadi gel, namun mudah rusak. Hal ini mendorong usaha pengolahan menjadi bubuk atau tepung (*aloe powder*) [6].

Pengeringan menjadi salah satu cara pengawetan bahan pangan agar memiliki umur simpan yang lebih panjang dengan mengurangi kadar air bahan agar dapat meminimalkan aktivitas mikroba. Ada beberapa cara pengeringan yang biasa digunakan untuk mengurangi kadar air bahan, seperti pengeringan menggunakan cahaya matahari, pengeringan dengan pengering kabinet dan pengeringan beku. Proses pengeringan tentu dapat mengubah karakteristik bahan secara signifikan atau tidak, seperti perubahan bentuk, tekstur, aroma, ataupun kandungan senyawa di dalamnya. Sementara banyak orang yang menginginkan hasil pengeringan tanpa harus mengalami perubahan signifikan, khususnya bahan-bahan yang ingin dipertahankan kandungan atau senyawa kimianya [7].

Tepung daun lidah buaya biasanya diproses dengan pengeringan vakum beku (*freeze vacuum drying*) dan

pengeringan semprot. Pengering beku vakum memiliki keunggulan dengan menjaga temperatur rendah, mengurangi kerusakan produk akibat temperatur tinggi, dan menghasilkan produk dengan kualitas fisik yang baik. Metode ini memberikan pengeringan yang lebih baik terhadap kandungan uap air selama proses dan dapat mengembalikan produk ke kondisi semula setelah pengeringan [8]. Proses pemisahan pada pengeringan beku meliputi tiga tahap: (a) tahap pembekuan, (b) tahap pengeringan beku primer, dan (c) tahap pengeringan beku sekunder. Pada tahap pembekuan, bahan makanan atau larutan didinginkan pada temperatur di mana semua material dalam keadaan beku. Pada tahap pengeringan beku primer, pelarut yang telah mengalami pembekuan dihilangkan melalui proses sublimasi. Pada tahap pengeringan beku sekunder terjadi penghilangan pelarut (air) yang tidak membeku [9]. Pemanfaatan panas buang kondensor pada sistem *freeze vacuum drying* mampu mempercepat proses pengeringan serta meningkatkan efisiensi penghilangan kadar air produk [10]. Namun, tantangan yang dihadapi adalah mempertahankan kualitas produk dan mengurangi konsumsi energi. Salah satu solusi adalah dengan memanfaatkan limbah panas kondensor untuk mempercepat proses sublimasi dan mengurangi konsumsi energi [11].

Mesin refrigerasi, yang terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator, berperan penting dalam proses ini. Pada kondensor, kalor yang dibuang berasal dari kalor yang diambil oleh evaporator pada temperatur dan tekanan rendah [12]. Kalor yang dibuang ini dapat dimanfaatkan untuk pemanas air, udara, dan penyimpanan energi termal, yang pada akhirnya dapat digunakan untuk penghematan energi [13].

Penelitian dengan menggunakan metode eksperimental tentang pengeringan vakum beku telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Agustina dkk [14] dengan hasil mengurangi kadar air 77,2%, temperatur rendah -9°C, memerlukan waktu 6,5 jam; Martin dkk [11] menggunakan evaporator dan kondensor ganda dengan hasil mengurangi kadar air 12% dari 10 kg padi, temperatur rendah -10,2°C, selama 6,5 jam; Martin dkk [15] menggunakan sistem kendali dan *reverse valve* dengan hasil mengurangi kadar air 76% dari padi 10 kg, selama 19 jam.

Pemanfaatan panas dengan menyimpannya di *thermal energy storage* telah dilakukan dengan metode eksperimental oleh beberapa peneliti diantaranya Butar dkk [16] menggunakan jenis *Phase Change Material* (PCM) dengan hasil mengurangi beban pendinginan serta menghemat konsumsi listrik dari 1.660 kWh/hari menjadi 1.512 kWh/hari; Rahardjo dkk [17] Penggunaan PCM meningkatkan efisiensi termal dibandingkan dengan sistem refrigerasi konvensional

dan memperlambat kenaikan temperatur dalam ruang muat.

Penelitian dengan metode eksperimental bermanfaat untuk mengetahui serta membandingkan performa alat uji dengan berbagai variasi. Pemanfaatan limbah panas dari kondensor saat pembekuan yang disimpan di *Thermal Energy Storage* (TES) dapat membantu meningkatkan efisiensi serta menurunkan biaya operasional. Penelitian ini diharapkan dapat membuat proses pengeringan tanaman lidah buaya lebih efisien dan ramah lingkungan, yang akan sangat bermanfaat bagi industri pengolahan pangan.

Berdasarkan latar belakang ini, tujuan yang ingin dicapai yaitu menghitung kadar air yang mampu dikurangi pada tanaman lidah buaya. Lalu hitung *Coefficient of Performance* (COP) dari alat uji yang telah dikembangkan. Kemudian, hitung penghematan energi pengering beku vakum setelah dikembangkan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau. Penelitian ini menggunakan alat *freeze vacuum drying* yang dilengkapi dengan sistem kendali dan telah dikembangkan dengan menambah *thermal energy storage* yang dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun *refrigeran* yang digunakan yaitu R-290 sebagai fluida pendinginnya. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pengujian beban 2 kg. Kemudian, beban tersebut divariasikan dengan menggunakan *thermal energy storage* dan tanpa *thermal energy storage* untuk membandingkan alat uji sebelum dikembangkan dan sesudah dikembangkan.

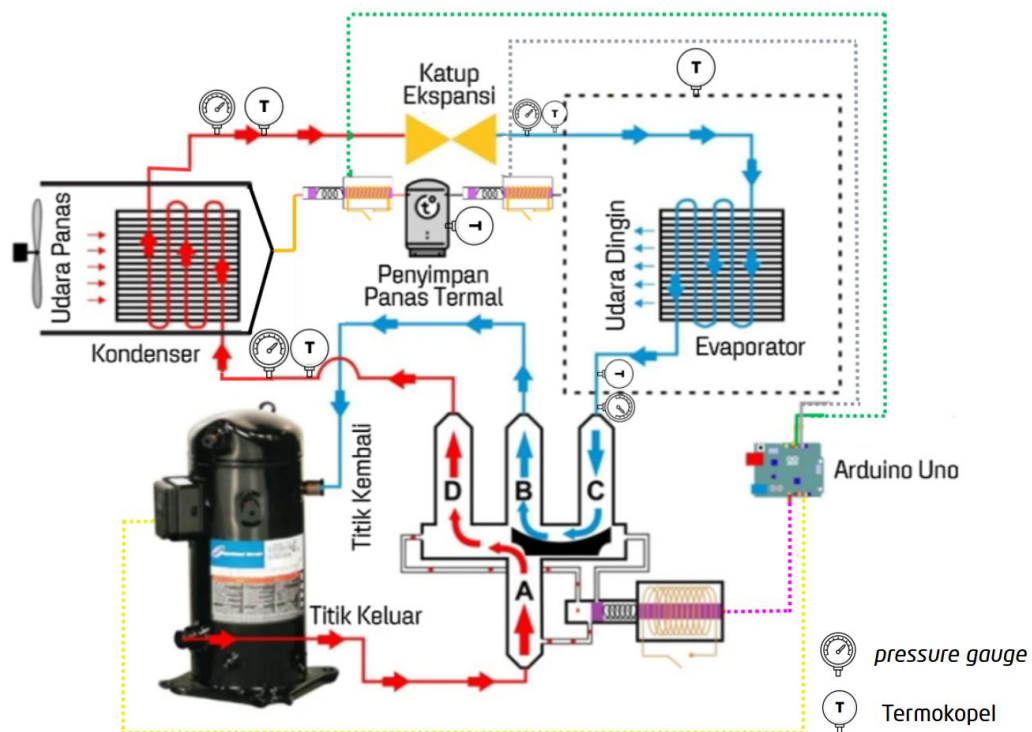
Pengeringan vakum beku adalah metode pengeringan yang digunakan untuk mengeringkan bahan dengan cara membekukan terlebih dahulu dan kemudian menghilangkan airnya melalui proses sublimasi agar dapat menjaga kualitas dan struktur dari bahan yang dikeringkan [18] [1]. Pengeringan beku vakum ini mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas [20]. Siklus pendinginan pengering beku vakum yang telah dikembangkan dengan menambah *thermal energy storage* dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada siklus pendinginan, *refrigeran* mengalir dari kompresor, kemudian menuju *reverse valve*, lalu menuju kondensor 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

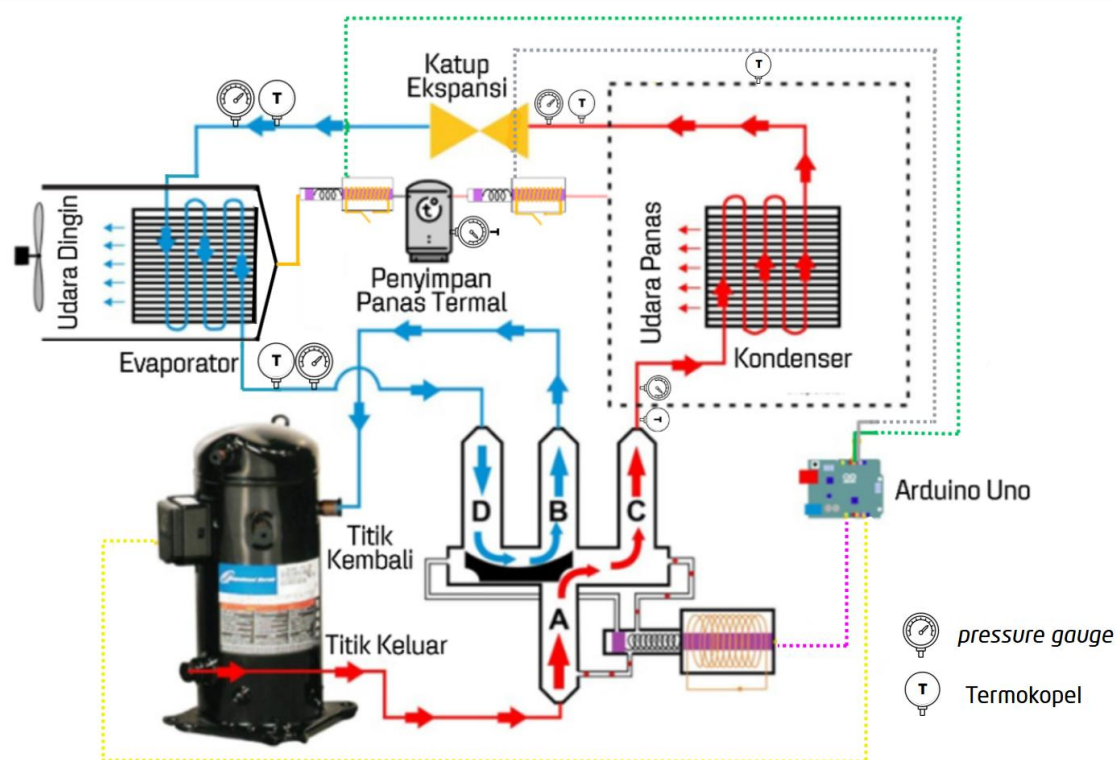
tercapai, dilanjutkan ke siklus pemanas yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Experimental Set-up of Freeze Vacuum Drying



Gambar 2. Skematik Sistem Pendinginan dan Charging Thermal Energy Storage; Selenoid Valve 1-Arduino; Selenoid Valve 2-Arduino; Reverse Valve 2-Arduino



Gambar 3. Skematik Sistem Pemanasan dan Discharging Thermal Energy Storage; Selenoid Valve 1-Arduino; Selenoid Valve 2-Arduino; Reverse Valve 2-Arduino

Tabel 1. Parameter COP

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

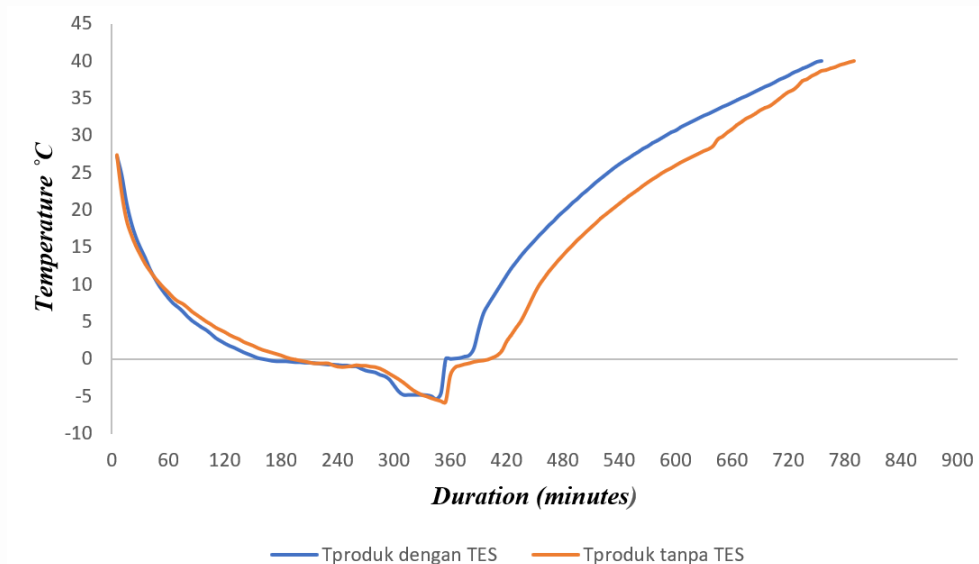
Pada siklus pemanasan, refrigeran mengalir dari kompresor kemudian menuju *reverse valve*, lalu menuju *chamber* yang beralih fungsi menjadi kondensor yang melepas kalor kepada produk, selanjutnya menuju katup ekspansi, lalu ke evaporator, kemudian *reverse valve* dan kembali ke kompresor. *Thermal energy storage* melakukan proses *discharging* dengan membuka *selenoid valve* 2 dan menutup *selenoid valve* 1.

Parameter yang digunakan untuk menghitung *Coefficient of Performance* pengering beku vakum dapat dilihat pada tabel 1 [12].

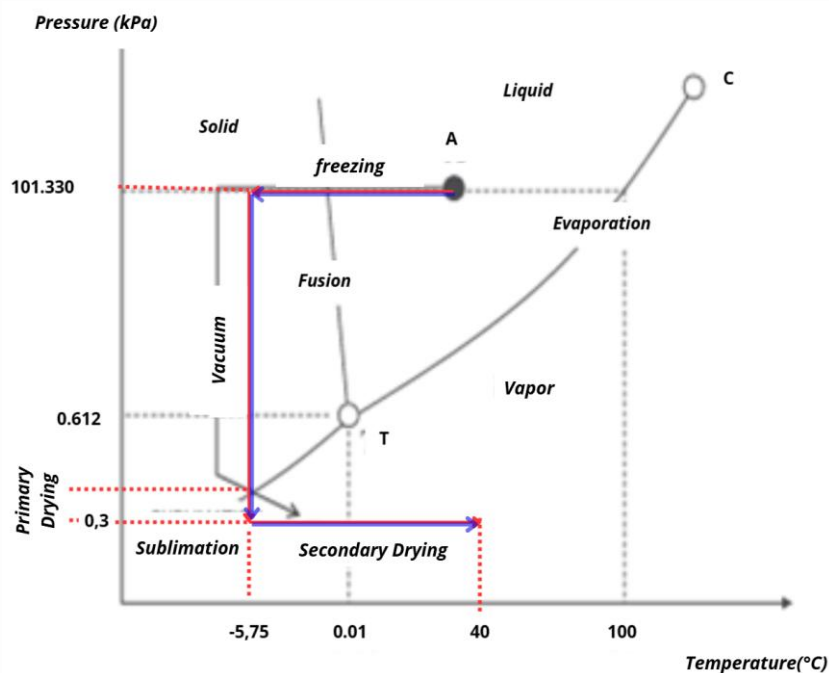
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian menggunakan TES, didapatkan pengurangan kadar air dari berat produk 2

kg yang berkadar air 1,9 kg sebesar 68%. Sedangkan pada pengujian tanpa TES didapatkan pengurangan kadar air dari berat produk 2 kg yang berkadar air 1,9 kg hanya sebesar 58,57%. Proses pengeringan lidah buaya dengan TES menggunakan daya listrik 8.052 Wh, sedangkan tanpa TES 8.311 Wh. Dengan demikian, pengujian pengering beku vakum menggunakan TES dapat menghemat daya listrik 259 Wh. Proses pengeringan lidah buaya menggunakan pengering beku vakum dapat dilihat pada Gambar 4, di mana lidah buaya ketika dimasukkan ke dalam ruang pengering berada pada suhu 27 °C, dan dilanjutkan ke proses pembekuan produk.



Gambar 4. Grafik *Temperature vs Duration* Beban 2 kg

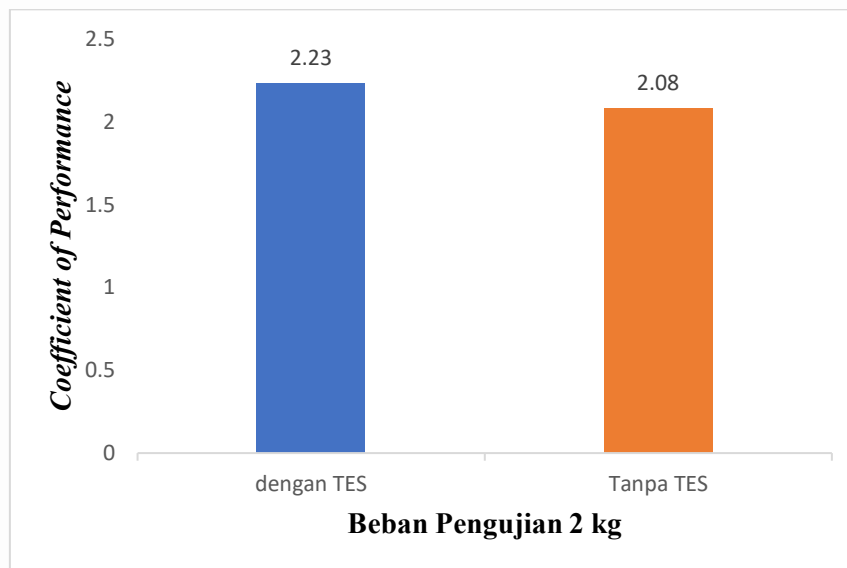


Gambar 5. Diagram Fasa Air

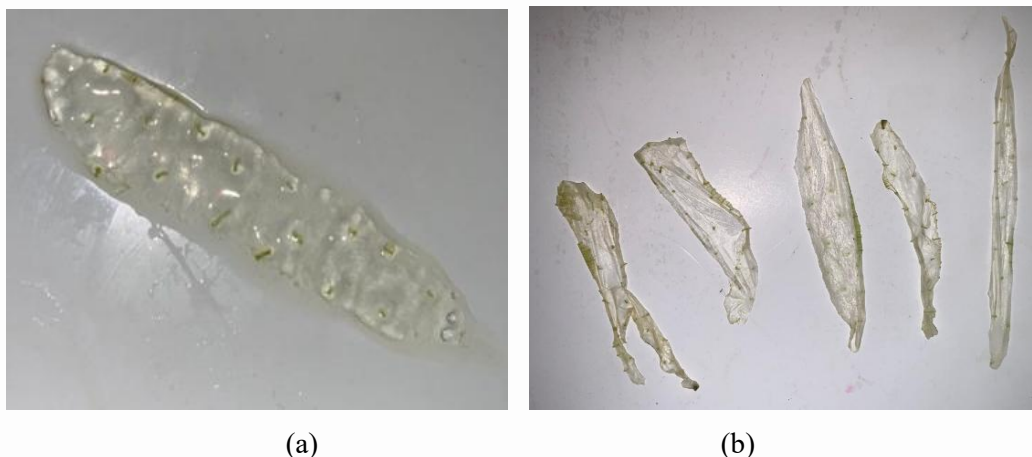
Pada Gambar 4 dijelaskan bahwa saat *freezing*, temperatur menggunakan TES dan tanpa TES dapat mencapai $-5,75^{\circ}\text{C}$ dan temperatur *heating* mencapai 40°C . Pengujian dengan menggunakan TES berjalan selama 12 jam 35 menit, sedangkan tanpa TES berjalan selama 13 jam 10 menit. Didapatkan dengan menggunakan TES lebih cepat, 35 menit, mencapai temperatur 40°C dibandingkan dengan tanpa *thermal energy storage*. Proses pengeringan menggunakan *freeze-vacuum drying* bekerja dengan mengubah fase cair pada lidah buaya menjadi padat dan langsung diaplikasikan dalam proses sublimasi. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 dijelaskan fasa air dari lidah buaya yang dikeringkan. Temperatur lidah buaya dimulai dari temperatur lingkungan. Kemudian didinginkan sampai temperatur $-5,75^{\circ}\text{C}$, di mana fasa air dari lidah buaya sudah membeku. Kemudian tekanan di *chamber* diturunkan sampai mencapai tekanan vakum dan melewati garis sublimasi di $0,4\text{ kPa}$, dan terjadi proses sublimasi yang dinamakan proses *primary drying*, lalu dilanjutkan ke tekanan $0,3\text{ kPa}$. Setelah tekanan dan temperatur tersebut tercapai, siklus berganti ke *heating* dengan mengubah fasa air yang sudah dibekukan langsung menjadi uap yang dinamakan sublimasi. Bantuan panas yang dibuang oleh kondenser dialirkan

ke ruang pengering. Proses ini dinamakan secondary drying yang dilakukan sampai temperatur 40°C.



Gambar 6. Grafik *Coefficient of Performance*



Gambar 7. Tanaman Lidah Buaya Sebelum Dikeringkan (a) dan Sesudah Dikeringkan (b)

Gambar 6 menunjukkan bahwa penggunaan Thermal Energy Storage (TES) pada pengujian freeze vacuum drying untuk mengeringkan lidah buaya menghasilkan kadar air yang lebih banyak yang dapat dihilangkan dibandingkan dengan tanpa TES pada beban pengujian 2 kg ini. Pada pengujian dengan menggunakan TES, kadar air yang hilang lebih banyak dibandingkan dengan tanpa TES. Hal ini menandakan bahwa energi untuk menyublimasikan air dari lidah buaya lebih banyak didapat pada pengujian menggunakan TES.

Berdasarkan Gambar 6, dijelaskan bahwa COP dari siklus *refrigerant* pada alat uji *freeze vacuum drying* dengan dan tanpa *thermal energy*. COP merupakan rasio antara kalor yang bermanfaat (energi untuk pengeringan) dan energi yang dikonsumsi, dan menjadi indikator efisiensi sistem termal. Terlihat bahwa COP dengan pengujian menggunakan *thermal*

energy storage sebesar 2,23, tanpa *thermal energy storage* sebesar 2,08. Hal tersebut menandakan bahwa pengujian menggunakan TES memperoleh lebih banyak kalor yang dimanfaatkan dibandingkan dengan tanpa TES.

Penelitian ini sejalan dengan temuan Belyamin [20] yang menekankan pentingnya efisiensi energi dalam proses pengeringan beku lidah buaya. Belyamin mengusulkan penerapan *vacuum freezing* dan pemanasan dari bawah (*back heating*) sebagai solusi untuk mengurangi waktu pengeringan dan konsumsi energi. Hasilnya, terjadi penghematan waktu pengeringan sekitar 2 jam. Dalam penelitian ini, pendekatan berbeda dilakukan melalui pemanfaatan *thermal energy storage (TES)* yang menyimpan panas dari kondensor untuk mempercepat proses *heating*. Penggunaan TES terbukti mampu mengurangi waktu proses hingga 35 menit dan menghemat daya sebesar

259 Wh pada beban 2 kg. Meskipun pendekatan teknisnya berbeda, kedua penelitian memiliki benang merah yang sama, yaitu mengoptimalkan proses *freeze drying* melalui pemanfaatan energi internal sistem, baik dengan peningkatan transfer panas dari bawah (Belyamin) maupun dengan penyimpanan dan pemanfaatan ulang kalor kondensor (penelitian ini). Hal ini menunjukkan bahwa teknologi hemat energi dalam sistem pengeringan beku sangat potensial untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya operasional pengolahan lidah buaya.

Lidah buaya sebelum dan setelah dikeringkan menggunakan *freeze vacuum drying* dapat dilihat pada Gambar 7. Lidah buaya sebelum dikeringkan terlihat masih basah dan tebal. Setelah dikeringkan, lidah buaya menjadi lebih kering dan tipis. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kadar air dari lidah buaya sudah menguap.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan sistem *thermal energy storage* (TES) terbukti mampu meningkatkan efisiensi proses *freeze vacuum drying*. Pada pengujian dengan beban 2 kg, kadar air yang berhasil dihilangkan mencapai 68% dengan TES, dibandingkan dengan 58,57% tanpa TES. Peningkatan efisiensi juga terlihat dari nilai *coefficient of performance* (COP), yaitu 2,23 (TES) dan 2,08 (tanpa TES). Selain itu, sistem TES juga memberikan penghematan energi listrik, dengan penghematan sebesar 259 Wh.

DAFTAR PUSTAKA

- [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. <https://ejournal.borobudur.ac.id/index.php/3/article/view/746>
- [2] Dilla, Z. S. (2019). Analisis Ekspor Lidah Buaya (Aloe Vera) Kalimantan Barat (Studi Kasus Ekspor Ke Negara Malaysia). *Jurnal Ekonomi STIEP*, 50–58. <https://doi.org/10.54526/JES.V4I2.24>
- [3] Yannie Asrie Widanti, E. L. A. M. &. (2019). Aktivitas Antioksidan Teh Kulit lidah buaya (aloe barbandensis miller) - rosela (hibiscus sabdariffa l) dengan variasi lama pengeringan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 3(2). <https://doi.org/10.33061/jitipari.v3i2.2694>.
- [4] Suryati, N., Bahar, E., & Ilmiawati, I. (2018). Uji Efektivitas Antibakteri Ekstrak Aloe vera Terhadap Pertumbuhan *Escherichia coli* Secara In Vitro. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 6(3), 518–522. <https://doi.org/10.25077/jka.v6i3.732>
- [5] Suryati, N., Bahar, E., & Ilmiawati, I. (2018). Uji Efektivitas Antibakteri Ekstrak Aloe vera Terhadap Pertumbuhan *Escherichia coli* Secara In Vitro. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 6(3), 518–522. <https://doi.org/10.25077/jka.v6i3.732>
- [6] 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. <https://doi.org/10.37478/mahajana.v2i2.870>
- [7] Prasetya, W., & Yastanto, A. J. (2023). Evaluasi Waktu Pengeringan 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. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i2.87724>
- [8] Purnamasari, I., Fajar, R., & Sriyaya Negara Bukit Besar Palembang, J. (2020). Efisiensi Mesin Pengering Beku Vakum pada Pengeringan Cabai Merah (*Capsicum Annuum* L). *Jurnal Kinetika*, 11(01), 1–8. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>.
- [9] Zhang, L., Qiao, Y., Wang, C., Liao, L., Liu, L., Shi, D., An, K., Hu, J., & Xu, Q. (2019). Effects of freeze vacuum drying combined with hot air drying on the sensory quality, active components, moisture mobility, odors, and microstructure of kiwifruits. *Journal of Food Quality*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8709343>
- [10] ., B., Tambunan, A. H., Purwadaria, H. K., & Alhamid, M. I. (2015). PENERAPAN SISTEM PEMBEKUAN VAKUM DAN PEMANASAN DARI BAWAH PADA MESIN PENGERING BEKU. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 21(3). <https://doi.org/10.19028/jtep.021.3.%p>
- [11] Martin, A., Simangunsong, N., & Ramadan, S. (2023). Rancang Bangun dan Pengujian Pengering Beku Vakum untuk Pembenihan Padi Menggunakan Evaporator dan Kondenser Ganda. *Seminar Nasional Program Profesi Insinyur - Universitas Andalas* 27-29 Juli 2023, 1, 176–181. <https://prosiding.bkstm.org/prosiding/2023/ken-050.pdf>
- [12] Cengel, Yunus A dan Boles, Michael A. 2019. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York : McGraw-Hill.
- [13] Aziz. (2015). Potensi Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Pada Kondensor. *Jurnal Mekanikal*, 6(2), 569–576. <https://repository.unri.ac.id/server/api/core/bitstreams/076bfce6-edb2-474a-8981-ec821ae1074f/content>

- [14] Agustina, D., Dhewaji, R. D., & Martin, A. (2020). Pemanfaatan panas kondenser pada pengering beku vakum. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 13(1), 32–36. <https://doi.org/10.24843/jem.2020.v13.i01.p06>
- [15] Martin, A., Hermanto, J., Agustina, D., Surianto, 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. <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v13i2.3845>
- [16] Butar, C. J. B.-. (2018). Modifikasi Sistem Pengaturan Udara dengan Menggunakan Phase Change Material (pcm) pada Ruang Akomodasi Kapal Pertamina. *Institute Teknologi Sepuluh Nopember*, 66.
- [17] Rahardjo, D. C., Fitri, S. P., & Wardhana, E. M. (2023). Analisis Kinerja Termal Sistem Refrigerasi Hybrid Menggunakan Phase Change Material Pada Eco Reefer Container Kapasitas ½ Ton. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), 3–9. <https://doi.org/10.12962/j.23373539.v12i3.124112>
- [18] Z. Lihui et al., “Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying,” *ScienceDirect*, p. 9, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125386>
- [19] M. Harguindeguy and D. Fissore, “On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review,” *Dry. Technol.*, vol. 38, no. 7, pp. 846– 868, 2020. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1599905?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- [20] Belyamin, A. H. Tambunan, H. K. Purwadaria, & M. I. Alhamid. (2008). Kajian Energi Pengeringan Beku dengan Penerapan Pembekuan Vakum dan Pemanasan dari Bawah. *Seminar Nasional Teknik Mesin*. November, 21–23. <https://prosiding.bkstm.org/prosiding/2006/M2-008.pdf>