

Analisis Karakterisasi Pengeringan Puree Lidah Buaya Menggunakan *Dehumidified Air Drying* Berbasis Refrigerasi

Pio Baltazar¹, Rahmat Subarkah^{1*}, dan Benhur Nainggolan¹

¹Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425
E-mail address: rahmat.subarkah@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Lidah buaya memiliki kandungan air yang tinggi sehingga mudah mengalami kerusakan selama penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pengeringan puree lidah buaya menggunakan sistem *dehumidified air drying* berbasis refrigerasi serta mengevaluasi kinerja energinya. Pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan massa puree lidah buaya 30 gram dengan variasi jumlah tray dan kecepatan udara. Parameter yang dianalisis meliputi kondisi udara pengering, penurunan massa, kadar air, laju pengeringan, *coefficient of performance* (COP), dan *specific moisture extraction rate* (SMER). Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu udara masuk ruang pengering berada pada kisaran 50,6–53,2 °C. Kondisi pengujian dengan massa puree 30 gram, 1 tray, dan kecepatan udara 4,13 m/s menghasilkan waktu pengeringan paling singkat, yaitu 70 menit, dengan massa akhir 0,32 gram. Nilai COP sistem berada pada kisaran 4,90–5,04, dengan nilai tertinggi diperoleh pada kondisi massa puree 30 gram, 2 tray, dan kecepatan udara 2,7 m/s. Sementara itu, nilai SMER tertinggi sebesar 0,0466 kg/kWh diperoleh pada kondisi massa puree 30 gram, 1 tray, dan kecepatan udara 4,13 m/s. Berdasarkan hasil tersebut, kondisi pengujian dengan massa puree 30 gram, 1 tray, dan kecepatan udara 4,13 m/s memberikan performa pengeringan terbaik karena menghasilkan waktu pengeringan paling singkat, penurunan kadar air paling cepat, dan kinerja energi tertinggi.

Kata-kata kunci: *dehumidified air drying*, lidah buaya, refrigerasi, COP, SMER

Abstract

Aloe vera has a high moisture content, making it susceptible to deterioration during storage. This study aims to analyze the drying characteristics of *aloe vera* puree using a refrigeration-based *dehumidified air drying* system and to evaluate its energy performance. The experiment was conducted using 30 g of *aloe vera* puree with variations in the number of trays and air velocity. The analyzed parameters included drying air condition, mass reduction, moisture content, drying rate, *coefficient of performance* (COP), and *specific moisture extraction rate* (SMER). The results showed that the inlet drying air temperature ranged from 50.6 to 53.2 °C. The test condition using 30 g of *aloe vera* puree, 1 tray, and an air velocity of 4.13 m/s produced the shortest drying time of 70 minutes with a final mass of 0.32 g. The COP of the system ranged from 4.90 to 5.04, with the highest value obtained under the condition of 30 g of *aloe vera* puree, 2 trays, and an air velocity of 2.7 m/s. Meanwhile, the highest SMER of 0.0466 kg/kWh was obtained under the condition of 30 g of *aloe vera* puree, 1 tray, and an air velocity of 4.13 m/s. Based on these results, the test condition using 30 g of *aloe vera* puree, 1 tray, and an air velocity of 4.13 m/s provided the best drying performance because it resulted in the shortest drying time, the fastest moisture reduction, and the highest energy performance.

Keywords: *dehumidified air drying*, *aloe vera*, refrigeration, COP, SMER

1. PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan proses untuk menurunkan kadar air bahan sehingga produk menjadi lebih stabil dan memiliki umur simpan lebih panjang. Namun, pengeringan konvensional menggunakan udara panas umumnya membutuhkan energi yang cukup besar dan berisiko menurunkan kualitas bahan yang sensitif terhadap suhu. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah *dehumidified air drying* (DAD), yaitu metode pengeringan yang memanfaatkan sistem refrigerasi untuk menghasilkan udara dengan kelembapan rendah pada suhu yang relatif terkendali [1], [2], [3].

Pada sistem DAD berbasis refrigerasi, udara lembap didinginkan di evaporator hingga sebagian uap airnya mengembun, kemudian udara dipanaskan kembali menggunakan panas kondensor sebelum dialirkan menuju ruang pengering. Pemanfaatan kembali panas kondensor tersebut berpotensi meningkatkan efisiensi energi sistem. Kinerja sistem dapat dievaluasi melalui *coefficient of performance* (COP) dan *specific moisture extraction rate* (SMER), sedangkan karakteristik pengeringan dapat diamati melalui perubahan massa, kadar air, dan laju pengeringan terhadap waktu [1], [4].

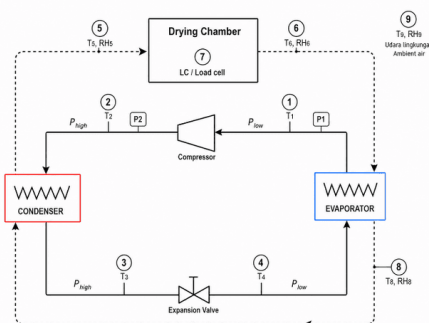
Lidah buaya (*Aloe vera*) memiliki kandungan air yang tinggi serta komponen yang sensitif terhadap kondisi pengolahan. Pengeringan pada kondisi yang kurang tepat dapat menyebabkan perubahan warna, kemampuan rehidrasi, serta penurunan kandungan vitamin dan senyawa bioaktif. Penelitian sebelumnya telah mengkaji pengeringan lidah buaya menggunakan metode yang beragam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa suhu, kelembapan relatif, kecepatan udara, dan ketebalan bahan berpengaruh terhadap laju pengeringan dan kualitas produk akhir [5], [6].

Meskipun demikian, penelitian mengenai pengeringan puree lidah buaya menggunakan sistem DAD berbasis refrigerasi yang menghubungkan karakteristik pengeringan dengan kinerja energi sistem masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada kinetika pengeringan atau kualitas produk akhir, sedangkan pembahasan mengenai perubahan massa, kadar air, laju pengeringan, kondisi udara, COP, dan SMER secara bersamaan masih belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik pengeringan puree lidah buaya menggunakan sistem *dehumidified air drying* berbasis refrigerasi serta mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan kondisi udara pengering, perubahan massa, kadar air, laju pengeringan, COP, dan SMER.

2. METODE PENELITIAN

Metode Eksperimen

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan alat *dehumidified air drying* dengan sistem udara tertutup atau *close loop*. Refrigeran yang digunakan pada sistem ini adalah R22. Skema sistem dan titik pengukuran pada alat ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu drying chamber, kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Udara pengering disirkulasikan melalui *drying chamber*, evaporator, dan kondensor, sedangkan sistem refrigerasi bekerja untuk proses dehumidifikasi dan pemanasan ulang udara.



Gambar 1. Skema Sistem dan Pengambilan Data

Selama pengujian berlangsung dilakukan beberapa pengambilan data di beberapa titik pengamatan sebagaimana yang ditampilkan oleh Gambar 1.

1. Suhu (T)

Suhu yang di ukur adalah suhu refrigeran masuk kompresor (T_1), suhu refrigeran keluar kompresor (T_2), suhu refrigeran keluar kondensor (T_3), suhu refrigeran masuk evaporator (T_4), suhu udara masuk ruang

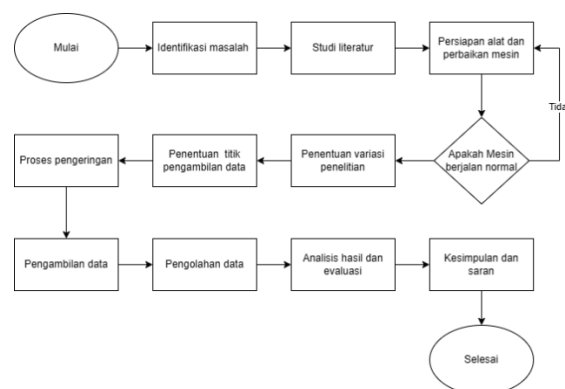
- pengering (T_5), suhu udara keluar ruang pengering (T_6), suhu udara keluar evaporator (T_8), dan suhu udara lingkungan (T_9).
2. Tekanan (P).
Pada titik P_1 menunjukkan pengukuran tekanan refrigeran pada sisi rendah dan P_2 menunjukkan pengukuran tekanan refrigeran pada sisi tinggi.
 3. *Relative Humidity (RH)*
Kelembapan udara diamati di beberapa titik yaitu RH udara masuk ruang pengering (RH_5), RH udara keluar ruang pengering (RH_2), RH udara keluar evaporator (RH_3), dan RH udara lingkungan (RH_9)
 4. *Load Cell*
Titik 7 sebagai tempat peletakan *load cell* untuk pengambilan data massa bahan yang di keringkan secara berkala

Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah lidah buaya segar yang telah dikupas, dibersihkan, kemudian dihaluskan hingga menjadi *puree*. *Puree* lidah buaya ditimbang sebanyak 30 gram untuk setiap variasi percobaan, kemudian diratakan pada tray agar permukaan bahan lebih seragam selama proses pengeringan. Pengujian dilakukan dengan variasi jumlah tray dan kecepatan udara pengering. Variasi percobaan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. Pada variasi A1 digunakan massa *puree* 30 gram dengan 1 tray dan kecepatan udara 4,13 m/s. Variasi A2 menggunakan massa *puree* 30 gram dengan 2 tray dan kecepatan udara 2,7 m/s, sedangkan variasi A3 menggunakan massa *puree* 30 gram dengan 3 tray dan kecepatan udara 2,3 m/s.

Tabel 1. Variasi Pengujian

Variasi	Berat	Tray	Kecepatan
A ₁	30 gram	1	4,13 m/s
A ₂	30 gram	2	2,7 m/s
A ₃	30 gram	3	2,3 m/s

Parameter yang diamati selama pengujian meliputi massa bahan, suhu udara pengering, kelembapan relatif, kecepatan udara, tekanan refrigeran, dan arus listrik kompresor. Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai jalannya penelitian, seluruh tahapan mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, hingga analisis telah dirangkum dalam bentuk diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian ini divisualisasikan pada diagram alir di Gambar 2. Tahapan awal meliputi identifikasi masalah dan tinjauan pustaka. Selanjutnya, dilakukan perbaikan dan uji coba operasional mesin pengering. Setelah sistem dipastikan berjalan normal, parameter uji ditetapkan melalui penentuan variasi penelitian dan titik pengukuran (sensor). Eksperimen utama direalisasikan melalui proses pengeringan, dilanjutkan dengan akuisisi data. Data kuantitatif yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis secara komprehensif untuk mengevaluasi hasil pengujian, sebelum akhirnya ditarik kesimpulan.

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah puree lidah buaya sebanyak 30 gram pada setiap pengujian dan refrigeran R22. Peralatan yang digunakan meliputi unit *dehumidified air drying* sistem *close loop*, tray pengering, timbangan digital atau *load cell*, termokopel dan *data logger*, anemometer, *pressure gauge*, *clamp meter*, serta oven untuk menentukan massa kering bahan.

Pengolahan Data

Data yang diukur meliputi massa bahan, suhu dan kelembapan relatif udara, suhu refrigeran, tekanan sisi tinggi dan sisi rendah, serta arus listrik kompresor. Data massa bahan digunakan untuk menghitung kadar air, laju pengeringan. Sementara itu, data sistem refrigerasi dan konsumsi listrik digunakan untuk menghitung *COP* dan *SMER*, untuk menentukan nilai-nilai tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan:

1. Kadar air basis kering

Dimana kadar air dari spesimen dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$MC_{ab} = \frac{m_t - m_d}{m_d} \quad (1)$$

Dengan :

MC_{ab} = Kadar air basis kering (g air/gram bahan kering)

m_t = Massa bahan pada waktu t (g)

m_d = Massa kering bahan hasil oven (g)

2. Coefficient of Performance

Dimana nilai coefficient of performance dapat dihitung dengan persamaan:

$$COP_c = \frac{Q_e}{W_c} \quad (2)$$

$$Q_e = h_1 - h_4 \quad (3)$$

$$W_c = h_1 - h_2 \quad (4)$$

Dengan:

COP_c = Coefficient of Performance

Q_e = Kalor yang diserap evaporator (Watt)

W_c = Kerja kompresor (Watt)

h_1 = Entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigeran keluar kompresor (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

3. Spesific Moisture Extraction Rate

Dimana nilai spesifik moisture content ratio dapat dihitung dengan persamaan:

$$SMER = \frac{m_w}{E} \quad (5)$$

$$E = V \times I \times t \quad (6)$$

Dengan:

$SMER$ = Spesific Moisture Extraction Rate (kg/kWh)

m_w = Massa air yang diuapkan (kg)

E = Energi yang digunakan selama pengeringan (kWh)

V = Tegangan

I = Arus

t = Lama waktu pengeringan (Jam)

4. Drying Rate

$$DR = \frac{m_t - m_{\Delta t}}{\Delta t} \quad (7)$$

Dengan :

DR = Drying Rate (g/menit)

m_t = Massa bahan pada waktu t

$m_{\Delta t}$ = Massa bahan pada waktu berikutnya

Δt = Selang waktu pengukuran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Udara Pengering

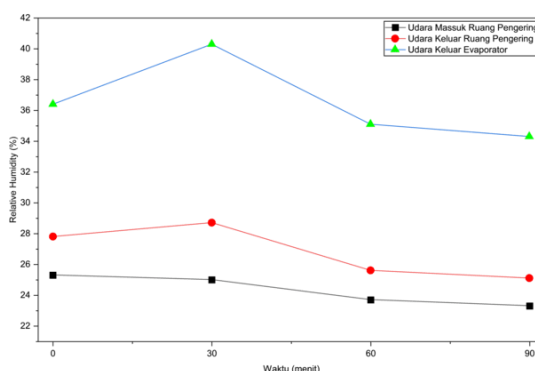
Kondisi udara pengering selama proses pengeringan puree lidah buaya dianalisis berdasarkan suhu dan kelembapan relatif udara. Parameter ini penting karena berpengaruh terhadap kemampuan udara dalam menerima dan membawa uap air dari bahan. Data suhu rata-rata udara pengering pada setiap variasi percobaan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Suhu Udara Pengering

Variasi	Suhu Udara Masuk Ruang Pengering (°C)	Suhu Udara Keluar Ruang Pengering (°C)	Suhu Udara Keluar Evaporator (°C)
A ₁	52,0	50,3	44,9
A ₂	50,6	48,2	40,8
A ₃	53,2	51,3	45,0

Berdasarkan Tabel 2, suhu udara masuk ruang pengering berada pada kisaran 50,6–53,2 °C. Suhu ini menunjukkan bahwa udara telah mengalami pemanasan setelah melewati kondensor sebelum digunakan untuk proses pengeringan. Suhu udara keluar ruang pengering berada pada kisaran 48,2–51,3 °C, sedangkan suhu udara keluar evaporator berada pada kisaran 40,8–45,0 °C. Penurunan suhu tersebut setelah keluar ruang pengering menunjukkan bahwa sebagian panas udara digunakan untuk menguapkan air dari bahan dan penurunan suhu setelah udara keluar evaporator menunjukkan bahwa udara mengalami pendinginan setelah melewati evaporator. Secara umum, sistem mampu menyediakan udara pengering pada kisaran sekitar 50 °C. Perbedaan suhu antarvariasi dapat dipengaruhi oleh kondisi kerja sistem dan udara lingkungan saat pengujian berlangsung.

Selain suhu, kelembapan relatif atau *relative humidity (RH)* juga diamati untuk mengetahui kemampuan udara pengering dalam menyerap uap air dari *puree* lidah buaya. Perubahan kelembapan relatif selama proses pengeringan ditampilkan pada salah satu variasi percobaan sebagai data representatif. Pemilihan salah satu variasi dilakukan karena tren perubahan *RH* pada ketiga variasi menunjukkan pola yang relatif sama. Grafik perubahan *RH* selama proses pengeringan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Penurunan *RH* terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 2, *RH* udara pengering mengalami perubahan selama proses pengeringan. Pada awal proses, *RH* cenderung meningkat karena udara membawa uap air dari *puree* lidah buaya yang masih memiliki kadar air tinggi. Setelah proses berlangsung, *RH* mulai menurun karena kandungan air bebas pada bahan semakin berkurang.

RH setelah evaporator yang relatif tinggi masih tergolong wajar karena udara mengalami penurunan suhu setelah melewati evaporator. Secara psikrometrik, ketika udara didinginkan, nilai *RH* dapat meningkat hingga mendekati kondisi jenuh dan kondensasi mulai terjadi ketika udara mencapai titik embun. Pada proses cooling and dehumidifying, udara dapat mengalami penurunan suhu dan penurunan humidity ratio, tetapi *RH* tetap dapat meningkat karena pengaruh temperatur udara yang lebih rendah [7], [8]

Pada sistem *heat pump dryer*, evaporator berfungsi untuk mengambil panas laten dari udara lembap, sedangkan kondensor memanaskan kembali udara sehingga temperatur udara naik dan *RH* menurun sebelum masuk ke ruang pengering. Penelitian Yamankaradeniz et al. juga menunjukkan bahwa udara keluar evaporator

pada sistem *re-circulating heat pump dryer* dapat berada pada kondisi *RH* yang tinggi, yaitu sekitar 80–90%, sehingga kondisi *RH* tinggi setelah evaporator masih sesuai dengan karakteristik sistem pengering pompa kalor [9]

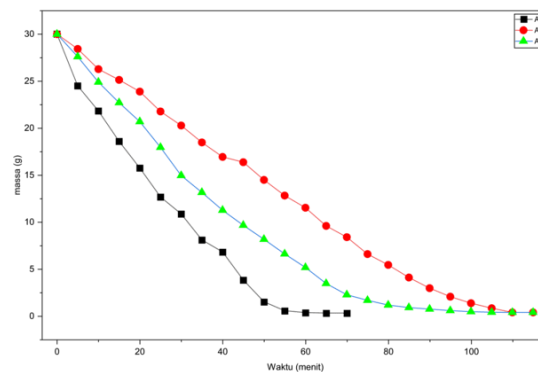
Hasil Penurunan Massa *Puree* Lidah Buaya

Pengamatan perubahan massa terhadap waktu dilakukan untuk mengetahui laju berkurangnya kandungan air pada *puree* lidah buaya selama proses pengeringan. Massa awal sampel pada setiap variasi dibuat sama, yaitu 30 gram, sehingga perbedaan penurunan massa dapat digunakan untuk membandingkan pengaruh jumlah tray dan kecepatan udara terhadap proses pengeringan. Hasil pengeringan massa *puree* lidah buaya dapat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengeringan *Puree* Lidah Buaya

Variasi	Massa Akhir (g)	Waktu Pengeringan (menit)
A ₁	0,32	70
A ₂	0,35	115
A ₃	0,37	115

Setelah waktu pengeringan pada setiap variasi diketahui, perubahan massa *puree* lidah buaya selama proses pengeringan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk melihat pola penurunan massa terhadap waktu. Grafik yang ditunjukkan Gambar 4 digunakan untuk memperjelas perbedaan laju pengeringan pada masing-masing variasi percobaan.



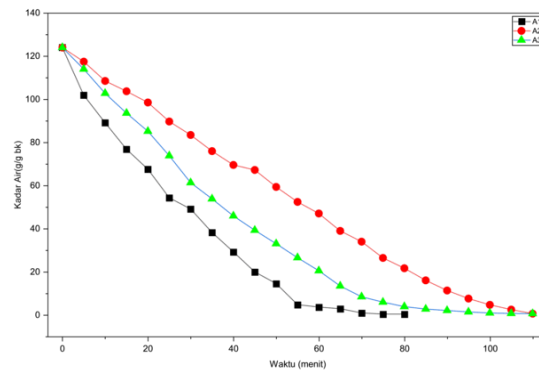
Gambar 4. Grafik Penurunan Massa Terhadap Waktu

Gambar 3 menunjukkan perubahan massa *puree* lidah buaya selama proses pengeringan. Massa awal pada setiap variasi adalah 30 gram dan mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya waktu. Penurunan massa tersebut menunjukkan terjadinya penguapan air dari bahan akibat kontak dengan udara pengering.

Variasi A1 menghasilkan penurunan massa paling cepat, yaitu mencapai massa akhir dalam waktu sekitar 70 menit. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan udara yang lebih tinggi sebesar 4,13 m/s dan penggunaan 1 tray, sehingga hambatan aliran udara lebih kecil dan perpindahan panas serta massa berlangsung lebih efektif. Sementara itu, variasi A2 dan A3 memiliki waktu pengeringan yang sama, tetapi A3 memiliki penurunan massa yang lebih cepat di awal waktu pengeringan dibandingkan A2. Hal ini menunjukkan bahwa selain kecepatan udara, jumlah tray dan sebaran bahan pada permukaan tray juga memengaruhi efektivitas proses pengeringan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa variasi A1 memberikan performa pengeringan terbaik berdasarkan penurunan massa terhadap waktu, karena mampu menurunkan massa *puree* lidah buaya lebih cepat dibandingkan variasi lainnya.

Penurunan Kadar Air Lidah Buaya

Setelah perubahan massa dianalisis, data pengeringan kemudian diolah menjadi kadar air basis kering untuk mengetahui penurunan kandungan air pada *puree* lidah buaya selama proses pengeringan yang disajikan pada Gambar 4. Kadar air basis kering digunakan karena dapat menunjukkan perbandingan massa air terhadap massa padatan kering bahan.



Gambar 5. Grafik Penurunan Kadar Air terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 5, kadar air basis kering puree lidah buaya pada seluruh variasi mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pengeringan. Pada awal proses, kadar air bahan masih tinggi sehingga penurunan kadar air berlangsung lebih cepat. Hal ini terjadi karena air bebas pada bahan masih banyak dan lebih mudah menguap akibat kontak dengan udara pengering.

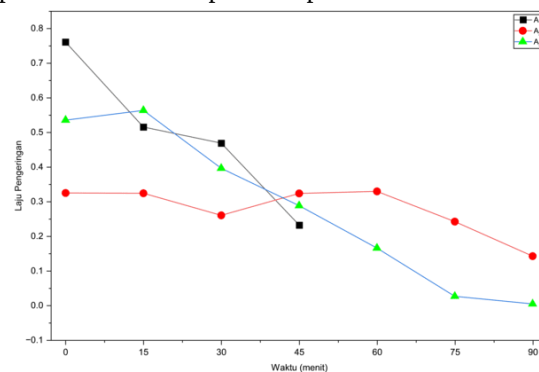
Variasi A1 menunjukkan penurunan kadar air paling cepat dibandingkan variasi A2 dan A3. Kadar air pada variasi A1 menurun hingga mendekati nilai akhir dalam waktu sekitar 70 menit. Kondisi ini dipengaruhi oleh kecepatan udara yang lebih tinggi, yaitu 4,13 m/s. Aliran udara yang lebih tinggi meningkatkan kontak antara udara pengering dan permukaan *puree* lidah buaya, sehingga perpindahan panas dan massa berlangsung lebih efektif.

Pada variasi A2 dan A3, waktu pengeringan yang dibutuhkan relatif sama, yaitu sekitar 115 menit. Meskipun kedua variasi memiliki jumlah tray dan kecepatan udara yang berbeda, pola penurunan kadar air keduanya menunjukkan bahwa proses pengeringan berlangsung lebih lambat dibandingkan A1. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kecepatan udara dan peningkatan jumlah tray dapat memengaruhi distribusi udara di dalam ruang pengering, sehingga proses penguapan air dari bahan menjadi tidak secepat variasi A1.

Secara umum, grafik kadar air basis kering terhadap waktu menunjukkan pola penurunan yang tajam pada awal pengeringan dan semakin melambat menjelang akhir proses. Kondisi ini disebabkan oleh berkurangnya jumlah air bebas pada bahan, sehingga air yang tersisa semakin sulit dikeluarkan. Berdasarkan hasil tersebut, variasi A1 memberikan performa pengeringan terbaik karena mampu menurunkan kadar air dalam waktu paling singkat, sedangkan variasi A2 dan A3 membutuhkan waktu pengeringan yang relatif sama.

Laju Pengeringan

Laju pengeringan dianalisis untuk mengetahui kecepatan penguapan air dari *puree* lidah buaya terhadap waktu. Laju pengeringan *puree* lidah buaya pada setiap variasi percobaan disajikan pada Gambar 6. Grafik ini digunakan untuk mengetahui perubahan laju penguapan air selama proses pengeringan serta membandingkan pengaruh jumlah tray dan kecepatan udara terhadap kemampuan sistem dalam mengurangi kadar air bahan.



Gambar 6. Grafik Laju Pengeringan

Berdasarkan Gambar 6, laju pengeringan pada setiap variasi menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya waktu pengeringan. Pada awal proses, laju pengeringan relatif lebih tinggi karena kandungan air pada *puree* lidah buaya masih banyak, terutama air bebas yang berada di permukaan bahan. Air tersebut lebih mudah menguap ketika menerima panas dari udara pengering..

Variasi A1 menunjukkan laju pengeringan yang tinggi pada awal proses, kemudian mengalami penurunan tajam hingga mendekati akhir pengeringan. Kondisi ini sejalan dengan hasil perubahan massa dan kadar air, di mana A1 memiliki waktu pengeringan paling singkat. Kecepatan udara yang lebih tinggi pada variasi A1, yaitu 4,13 m/s, menyebabkan kontak antara udara pengering dan permukaan bahan menjadi lebih efektif sehingga proses perpindahan panas dan massa berlangsung lebih cepat.

Pada variasi A2, laju pengeringan cenderung lebih rendah dan mengalami perubahan yang lebih landai dibandingkan A1. Hal ini menunjukkan bahwa proses penguapan air berlangsung lebih lambat. Sementara itu, variasi A3 menunjukkan laju pengeringan yang sempat meningkat pada awal proses, kemudian menurun secara bertahap hingga akhir pengeringan. Perbedaan pola tersebut dapat dipengaruhi oleh distribusi udara, jumlah tray, dan sebaran puree pada permukaan tray.

Secara umum, penurunan laju pengeringan pada akhir proses terjadi karena jumlah air bebas di dalam bahan semakin berkurang. Air yang tersisa lebih sulit dikeluarkan karena berada lebih kuat di dalam struktur bahan, sehingga proses penguapan menjadi lebih lambat. Berdasarkan grafik tersebut, variasi A1 menunjukkan performa pengeringan paling baik karena memiliki laju pengeringan yang lebih efektif dan waktu pengeringan paling singkat dibandingkan variasi lainnya.

Coefficient of Performance (COP)

Nilai *Coefficient of Performance* dianalisis berdasarkan temperatur dan tekanan refrigeran pada siklus kompresi uap. Temperatur diukur pada empat titik utama, yaitu T1 sebagai sisi masuk kompresor, T2 sisi keluar kompresor, T3 sisi keluar kondensor, dan T4 sisi masuk evaporator. Selain itu, tekanan sisi rendah dan sisi tinggi juga digunakan sebagai data pendukung untuk menentukan kondisi termodinamika refrigeran. Data temperatur dan tekanan refrigeran disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Suhu dan Tekanan Refrigeran

Variasi	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	P ₁ (psi)	P ₂ (psi)
A ₁	36,1	103,6	56,3	5,7	341	67
A ₂	35,0	103,3	57,8	13,4	351	66
A ₃	33,2	101,1	56,6	12,0	343	61

Data temperatur dan tekanan yang ditampilkan pada Tabel 4 kemudian digunakan untuk menentukan nilai entalpi refrigeran pada setiap titik siklus. Nilai entalpi ini menjadi dasar dalam perhitungan nilai *COP* sistem. Hasil nilai entalpi pada setiap masing-masing variasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Entalpi

Variasi	h ₁ (kJ/kg)	h ₂ (kJ/kg)	h ₃ (kJ/kg)	h ₄ (kJ/kg)
A ₁	430,52	462,33	272,01	272,01
A ₂	428,85	459,88	272,45	272,45
A ₃	429,6	461,3	274,19	274,19

Berdasarkan Tabel 5, nilai h₃ dan h₄ memiliki nilai yang sama dikarena proses ekspansi pada katup ekspansi atau pipa kapiler berlangsung secara isentalpik. Nilai entalpi tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *COP* sistem refrigerasi yang disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai COP

Variasi	COP
A ₁	4,98
A ₂	5,04
A ₃	4,90

Berdasarkan Tabel 6, nilai *COP* sistem refrigerasi berada pada kisaran 4,90–5,04. Nilai tersebut masih berada dalam rentang *COP heat pump dryer* yang dilaporkan oleh Loemba et al [10], yaitu 1,94–5,338, sehingga kinerja sistem refrigerasi pada penelitian ini dapat dikatakan masih berada pada rentang yang umum untuk sistem pengering berbasis pompa kalor. Dalam penelitian ini nilai *COP* tertinggi diperoleh pada variasi

A2 sebesar 5,04, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi A3 sebesar 4,90. Perbedaan nilai *COP* antarvariasi relatif kecil, sehingga kinerja sistem refrigerasi dapat dikatakan cukup stabil selama proses pengeringan.

Nilai *COP* yang tinggi menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan efek refrigerasi yang lebih besar dibandingkan kerja kompresor yang dibutuhkan. Dalam sistem *dehumidified air drying*, efek refrigerasi berperan penting untuk menurunkan kelembapan udara melalui evaporator, sedangkan panas dari kondensor dimanfaatkan kembali untuk memanaskan udara pengering. Dengan demikian, nilai *COP* tersebut menunjukkan bahwa sistem refrigerasi bekerja dengan baik dalam mendukung proses dehumidifikasi dan pemanasan udara pada pengeringan *puree* lidah buaya.

Specific Moisture Extraction Rate (SMER)

Kinerja energi proses pengeringan dianalisis menggunakan nilai *specific moisture extraction rate* atau *SMER*. *SMER* menunjukkan banyaknya air yang dapat diuapkan dari bahan terhadap energi listrik yang digunakan selama proses pengeringan. Semakin besar nilai *SMER*, maka semakin baik kemampuan sistem dalam menguapkan air dengan konsumsi energi yang lebih rendah. Besaran nilai *SMER* pada setiap variasi disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kinerja Energi

Variasi	Massa air diuapkan (kg)	Energi Listrik (kWh)	<i>SMER</i> (kg/kWh)
A ₁	0,02965	0,64	0,0466
A ₂	0,02963	1,01	0,0292
A ₃	0,02969	0,84	0,0354

Berdasarkan Tabel 7, nilai *SMER* pada penelitian ini berada pada kisaran 0,0292–0,0466 kg/kWh. Nilai tersebut menunjukkan kemampuan sistem dalam menguapkan air terhadap energi listrik yang digunakan. Penggunaan *SMER* sebagai parameter evaluasi kinerja energi sejalan dengan penelitian Liu et al [11] pada heat pump dryer, meskipun nilai *SMER* yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah karena pengujian dilakukan pada massa bahan yang kecil, yaitu 30 gram, dengan jumlah air yang diuapkan sekitar 0,029 kg. Nilai *SMER* tertinggi diperoleh pada variasi A1 sebesar 0,0466 kg/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa variasi A1 memiliki kinerja energi terbaik karena mampu menguapkan air lebih besar untuk setiap satuan energi listrik yang digunakan. Nilai *SMER* terendah terdapat pada variasi A2 sebesar 0,0292 kg/kWh, sedangkan variasi A3 menghasilkan nilai *SMER* sebesar 0,0354 kg/kWh.

Massa air yang diuapkan pada ketiga variasi relatif hampir sama, yaitu sekitar 0,029 kg. Oleh karena itu, perbedaan nilai *SMER* lebih banyak dipengaruhi oleh energi listrik yang digunakan selama proses pengeringan. Variasi A1 memiliki energi listrik paling rendah, yaitu 0,64 kWh, sehingga menghasilkan nilai *SMER* paling tinggi. Sebaliknya, variasi A2 menggunakan energi listrik paling besar, yaitu 1,01 kWh, sehingga nilai *SMER* yang dihasilkan menjadi paling rendah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian eksperimen, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem *dehumidified air drying* berbasis refrigerasi mampu digunakan untuk proses pengeringan *puree* lidah buaya. Suhu udara masuk ruang pengering berada pada kisaran 50,6–53,2 °C, sehingga sistem mampu menyediakan udara pengering pada suhu rendah-menengah. Perubahan RH selama proses pengeringan juga menunjukkan bahwa sistem dapat mempertahankan kondisi udara yang mendukung proses penguapan air dari bahan.
2. Variasi A1 dengan massa *puree* 30 gram, 1 tray, dan kecepatan udara 4,13 m/s menghasilkan performa pengeringan terbaik. Variasi ini memiliki waktu pengeringan paling singkat, yaitu 70 menit, dengan massa akhir 0,32 gram. Sementara itu, variasi A2 dan A3 membutuhkan waktu pengeringan lebih lama, yaitu 115 menit. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan udara dan jumlah tray berpengaruh terhadap penurunan massa, kadar air, dan laju pengeringan.

3. Kinerja sistem refrigerasi selama pengeringan menunjukkan nilai *COP* pada kisaran 4,90–5,04, sehingga sistem dapat dikatakan bekerja cukup stabil. Dari sisi kinerja energi, nilai *SMER* tertinggi diperoleh pada variasi A1 sebesar 0,0466 kg/kWh, lebih tinggi dibandingkan A2 sebesar 0,0292 kg/kWh dan A3 sebesar 0,0354 kg/kWh. Dengan demikian, variasi A1 menjadi kondisi terbaik karena memiliki waktu pengeringan paling singkat dan efisiensi energi tertinggi.

REFERENSI

- [1] S. Djamila *et al.*, “The Performance of a drying machine utilizing an air dehumidification process for marungga leaves and identification of marungga flour,” *International Journal of Technology, Food and Agriculture*, vol. 1, no. 3, pp. 134–143, Oct. 2024, doi: 10.25047/tefa.v1i3.5606.
- [2] I. Nyoman Gede Baliarta, I. Made Sudana, M. Ery Arsana, A. An-Nizhami, and N. Apriandi, “Aplikasi Cooling Dehumidification pada Mesin Pengering untuk Meringkakan Hasil Panen Tanaman Herbal,” 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [3] S. Sannan, M. Bantle, M. Lauermann, and V. Wilk, “DryFiciency Waste Heat Recovery in Industrial Drying Processes Specification of performance indicators and validation requirements This is a Deliverable of WP1 Deliverable Leader: Ingrid Camilla Claussen,” 2019. [Online]. Available: www.dryficiency.eu
- [4] I. N. Ardita, I. G. A. B. Wirajati, I. D. M. Susila, and I. K. Suherman, “Drying Spices by Utilizing the Dehumidification Process and the Heat Condensor in the Refrigeration System,” 2024, pp. 49–56. doi: 10.2991/978-94-6463-364-1_6.
- [5] A. A. Ayala-Aponte, J. D. Cárdenas-Nieto, and D. F. Tirado, “Aloe vera gel drying by refractance window®: Drying kinetics and high-quality retention,” *Foods*, vol. 10, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.3390/foods10071445.
- [6] Sugiarto Bambang, Suranto, Dyah Sugandini, Akbar Maulana Yusuf, Rindiyan Alam Fitri, and Sri Wahyu Murni, “PENETAPAN HEAT RATE PADA PENGERINGAN LIDAH BUAYA (ALOE VERA) MENGGUNAKAN ELECTRIC TUNNEL DRYER ,” *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 19, no. 2, pp. 32–38, Feb. 2025.
- [7] S. R. Shinde, B. N. Thorat, and S. P. Deshmukh, “Energy-Efficient Low-Temperature Heat Pump Drying of Mint Leaves: Preserving Quality and Energy,” *Food Science and Technology (United States)*, vol. 13, no. 3, pp. 261–273, Sep. 2025, doi: 10.13189/fst.2025.130303.
- [8] K. Setiawan Lahope, “The Analysis of Daily Dynamics of Microclimate Air Temperature and Humidity in Lake Tondano,” *International Journal of Multidisciplinary on Science and Management*, vol. 2, pp. 125–132, 2025, doi: 10.71141/30485037/V2I4P114.
- [9] N. Yamankaradeniz, K. F. Sokmen, S. Coskun, O. Kaynakli, and B. Pastakkaya, “Performance analysis of a re-circulating heat pump dryer,” *Thermal Science*, vol. 20, no. 1, pp. 267–277, 2016, doi: 10.2298/TSCI130426069Y.
- [10] A. B. T. Loemba, B. Kichonge, and T. Kivevele, “Comprehensive assessment of heat pump dryers for drying agricultural products,” Aug. 01, 2023, *John Wiley and Sons Ltd*. doi: 10.1002/ese3.1326.
- [11] H. Liu, K. Yousaf, K. Chen, R. Fan, J. Liu, and S. A. Soomro, “Design and thermal analysis of an air source heat pump dryer for food drying,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 9, Sep. 2018, doi: 10.3390/su10093216.