

# ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA MESIN PENGERING DAUN KELOR TIPE *TRAY DRYER* MENGGUNAKAN LAMPU PIJAR SEBAGAI PEMANAS

Anderias Lalo Mere

Fakultas Sains dan Teknik, Program Studi Teknik Mesin

Universitas Nusa Cendana

Email: [anthemere@gmail.com](mailto:anthemere@gmail.com)

## ABSTRAK

Pengeringan merupakan proses menghilangkan sejumlah air yang terdapat dalam suatu material. Pengeringan biasanya dilakukan pada produk makanan untuk diawetkan. Salah satu pengaplikasiannya adalah pengeringan pada daun kelor. Berdasarkan penjelasan dari beberapa riset menyatakan bahwa kandungan nutrisi pada daun kelor tidak bertahan lama. Oleh karena kandungan nutrisi daun kelor tidak bertahan lama, langkah untuk mempertahankan kandungan nutrisi pada daun kelor yaitu diawetkan melalui proses pengeringan. Pengeringan daun kelor dengan bantuan panas buatan merupakan alternatif yang sedang dikembangkan untuk diteliti lebih lanjut yaitu pengering tipe *tray dryer* yang menggunakan lampu pijar sebagai pemanas. Tujuan penelitian dilakukan adalah menghitung laju perpindahan panas untuk mengetahui besar kerugian panas dan efisiensi mesin pengering daun kelor. selain itu tujuan penelitian bertujuan untuk mengetahui laju penurunan kelembaban dalam mesin pengering. setelah dilakukan penelitian maka disimpulkan bahwa mesin pengering mampu mengeringkan 2 kg daun kelor mentah menjadi 200 gram. Kelembaban awal dalam mesin pengering adalah 86%, setelah melalui proses pengeringan selama 24 jam menjadi 23.5%. Sebaran panas dalam mesin pengering cukup merata karena selisi temperatur antara setiap rak 0.3 – 1.7°C dengan temperatur rata-rata dalam mesin pengering 51°C. Efisiensi mesin pengering daun kelor adalah 63.64%

**Kata kunci:** pengeringan, *tray dryer*, pemanas, lampu pijar, kelembaban, daun kelor

## ABSTRACT

*Drying is the process of removing some of the water contained in a material. Drying is usually done on food products for preservation. One of the applications is drying on Moringa leaves. Based on explanations from several studies, it is stated that the nutritional content of Moringa leaves does not last long. Because the nutritional content of Moringa leaves does not last long, the step to maintain the nutritional content of Moringa leaves is to preserve it through a drying process. Drying of Moringa leaves with the help of artificial heat is an alternative that is being developed for further research, namely a tray dryer that uses an incandescent lamp as a heater. The purpose of this research is to calculate the rate of heat transfer to determine the amount of heat loss and efficiency of the Moringa leaf drying machine. In addition, the aim of the study was to determine the rate of decrease in humidity in the drying machine. After doing the research, it was concluded that the dryer was able to dry 2 kg of raw Moringa leaves into 200 grams. The initial humidity in the drying machine is 86%, after going through the drying process for 24 hours it becomes 23.5%. The heat distribution in the dryer is quite even because the temperature difference between each shelf is 0.3-1.7 with the average temperature in the dryer is 51. The efficiency of the Moringa leaf drying machine is 63.64%.*

**Keywords:** *wrying, tray dryer, heating, incandescent lamp, humidity, moringa leaves.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan kekayaan alam yang sangat melimpah. Hasil alam di bumi pertiwi setiap pulau, memiliki hasil alam yang beragam dan memiliki nilai jual dipasaran baik tingkat nasional maupun internasional. Salah satunya di bidang pertanian yaitu pada proses pengolahan hasil pertanian dengan bantuan teknologi modern, sehingga menghasilkan kualitas dan kuantitas produk pertanian yang semakin baik. Salah satu teknologi modern yang sedang dikembangkan untuk hasil pertanian adalah teknologi pengeringan.

Daun kelor merupakan salah satu bagian dari daun kelor yang di teliti kandungan gizi dan kegunaannya. Adapaun kandungan gizi dari daun kelor yaitu vitamin A, B, kalsium, kalium, besi, dan protein yang cukup tinggi. Menurut sebuah penelitian vitamin A di daun kelor 4 kali lebih tinggi dari wortel dan vitamin C 7 kali lebih tinggi dari jeruk. Dengan kandungan yang bisa menangkal radikal bebas tersebut stress oksidatif juga bisa di kurangi, Syarifah dkk.,[1]. Daun kelor merupakan salah satu komoditas pertanian yang kandungan gizinya tidak bertahan lama. Salah satu cara menjaga agar gizi yang terdapat pada daun kelor adalah melalui proses pengeringan.

Pengeringan (*drying*) merupakan suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas, Muhammad [2]. Pengeringan makanan bertujuan untuk memperpanjang umur simpan, dengan cara mengurangi kadar air dalam bahan makanan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan meminimalkan biaya distribusi bahan makanan karena berat dan ukuran makanan menjadi lebih rendah.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengeringkan daun kelor yaitu metode pengeringan alami atau dijemur langsung dibawah sinar matahari. Penggunaan energi matahari sebagai sumber panas dalam pengeringan memiliki kekurangan karena panas matahari tidak sama atau ada sepanjang hari sehingga pengeringan tidak berjalan dengan baik, kualitas dan kebersihan daun kurang bagus, karena biasanya dikeringkan dilahan terbuka.

Pengeringan dengan memanfaatkan bantuan energi listrik merupakan salah satu alternatif pengembangan teknologi modern yang digunakan untuk memudahkan proses pengeringan dan tetap menjaga kualitas pada daun kelor. Pengeringan ini menggunakan lampu pijar sebagai pemanas untuk mengeringkan daun kelor. Pengeringan jenis ini harus efisien, yaitu mampu memanfaatkan panas yang dihasilkan untuk mengeringkan daun kelor

Maka dari itu, untuk mengatasi masalah yang disebutkan di atas, maka perlu diteliti proses pengeringan dengan menggunakan mesin pengering daun kelor tipe *tray dryer* yang memanfaatkan lampu pijar sebagai pemanas. Adapun mekanisme yang digunakan dalam pengeringan tersebut adalah konveksi paksa yaitu menggunakan *Exhaust Fan*.

Joko dkk [3], melakukan penelitian tentang pengeringan kerupuk singkong menggunakan tipe rak dengan bahan bakar pemanas gas LPG. Alat pengering ini dibuat berdasarkan proses pengeringan yang dilakukan sebelumnya adalah dikeringkan langsung menggunakan panas matahari. Dari pengeringan langsung menggunakan panas matahari. Hal ini mempengaruhi kualitas kerupuk singkong yang dihasilkan karena pengaruh eksternal dari proses pengeringan menggunakan panas matahari yaitu polusi udara. Sehingga peneliti merancang alat pengering tipe *cabinet/tray dryer*. Mesin pengering ini di buat dengan ukuran 150 cm (tinggi) x 40 cm (lebar) x 75 cm (panjang). Dari hasil pengeringan ini mendapat hasil yang cukup baik yaitu mampu mengurangi kadar air dari 60% hingga 6%. Waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan adalah 7,10 dan 12 jam, dengan temperatur 70°C, 60°C dan 50°C. Alat pengering ini menggunakan metode pengeringan konvensional.

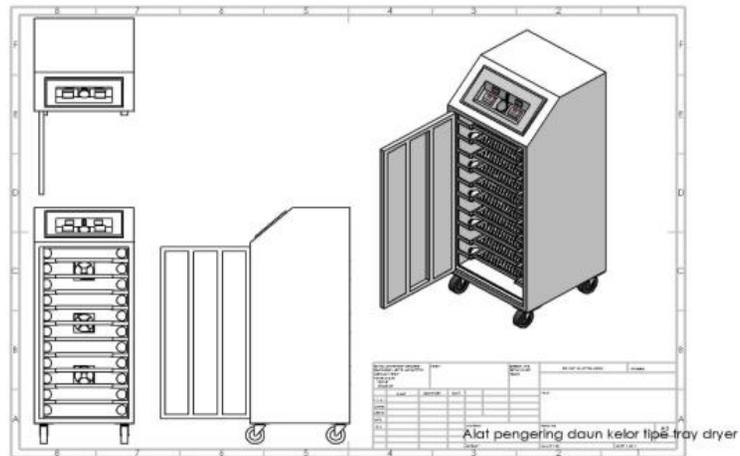
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dengan memanfaatkan lampu pijar sebagai pemanas untuk proses pengeringan daun kelor menggunakan mesin pengering tipe *tray dryer*. dengan menggunakan mesin pengering tipe *tray dryer* dan lampu pijar sebagai pemanas, diharapkan hasil pengeringan

daun kelor lebih baik dari alat pengering sebelumnya. Hasil penelitian yang diperoleh nantinya, mesin pengering tipe *tray dryer* bisa dijadikan sebagai alternatif untuk industri skala kecil.

Berikut adalah dimensi dari ruang pengering dari mesin pengering tipe *tray dryer* pada penelitian ini:

- Tinggi : 135 cm
- Panjang : 53 cm
- Lebar : 53 cm
- Jumlah rak : 10
- Jarak antar rak : 9 cm
- Jumlah fan : 3
- Jumlah lampu : 22



**Gambar 1. Desain mesin pengering daun kelor tray dryer**

Mesin pengering daun kelor tipe *tray dryer* merupakan mesin pengering tipe rak yang dirancang dengan bentuk seperti lemari pakaian. kapasitas pengeringan tipe mesin pengering ini sebesar 2 kg sekali pengeringan. Mesin pengering ini menggunakan lampu pijar 5 watt sebagai pemanas dengan banyak lampu yang digunakan 22 buah lampu. Penempatan lampu-lampu diletakkan pada kedua sisi mesin pengering (sisi bagian kanan 11 buah dan bagian kiri 11 buah) dengan posisi dipasang di antara setiap rak pada mesin pengering. Pada bagian belakang dan atas lemari mesin pengering dipasang *fan* guna mempercepat membuang udara keluar sehingga diharapkan dapat mempercepat proses pengeringan (konveksi paksa).

Prosedur pengujian pengeringan daun kelor yang dilakukan dengan menggunakan mesin pengering daun kelor tipe *tray dryer* sebagai berikut:

- a. Pengambilan daun kelor
- b. Peluruhan daun kelor
- c. Daun kelor di cuci menggunakan air bersih
- d. Pemasangan sensor temperature dalam lemari mesin pengering
- e. Daun kelor yang telah dicuci di timbang per rak 200gram dan dimasukkan dalam lemari mesin pengering
- f. Mulai proses pengujian dengan menghidupkan mesin pengering selama 24 jam
- g. Setelah selesai pengujian, daun kelor yang telah kering di timbang.

Untuk menghiung laju airan massa menggunakan persamaan berikut:

$$\dot{m}_{fan} = \rho \times V \times A \tag{1}$$

Keterangan:

$\dot{m}_{fan}$  = Laju aliran massa (kg/s)  
 $\rho$  = densitas (kg/m<sup>3</sup>)  
V = kecepatan udara (m/s)  
A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

Persamaan matematis perpindahan panas secara konveksi Holman [4], sebagai berikut:

$$Q_{conv} = h \times A(T_{in} - T_{out}) \quad (2)$$

Keterangan:

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>.K);  
A = luas ruang mesin pengering  
 $T_{in}$  = temperatur dalam ruang mesin;  
 $T_{out}$  = temperatur yang keluar melalui *Fan*.

Persamaan yang digunakan untuk memperoleh *reynold number* adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (3)$$

Keterangan:

V = Kecepatan fluida (m/s)  
L = Panjang lintasan (m)  
 $\nu$  = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

Persamaan yang digunakan untuk memperoleh *nusselt number* adalah sebagai berikut:

$$\overline{Nu_L} = \frac{hL}{K_f} \quad (4)$$

Keterangan:

$Nu_L$  = Bilangan Nusselt  
 $h$  = Koefisien perpindahan panas konduksi (W/m<sup>2</sup>.K)  
 $K_f$  = Konduktifitas fluida (W/m.K)

Kalor sensible merupakan kalor yang menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan temperatur. Untuk kalor jenis ini menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (5)$$

Keterangan:

Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (W)  
 $\dot{m}$  = laju aliran massa  
Cp = Kalor jenis zat (J/kg.K)

$\Delta T$  = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

Adapun persamaan yang digunakan untuk Menghitung kebutuhan energi pengeringan daun kelor [5], sebagai berikut:

Energi pemanasan daun kelor:

$$Q_t = W_{bb} \cdot C_{p_{bb}} (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Keterangan:

$Q_t$  = Energi pemanasan daun kelor  
 $W_{bb}$  = Berat basah daun kelor  
 $C_{p_{kelor}}$  = Panas jenis daun kelor (kJ/kg)  
 $T_1$  = Temperatur awal  
 $T_2$  = Temperatur Pengeringan

Energi pemanasan air daun kelor

$$Q_w = W_{air} \cdot C_{p_{air}} (T_2 - T_1) \quad (7)$$

Keterangan:

$Q_w$  = Energi pemanasan air daun kelor  
 $W_i$  = Berat awal kadar air kelor  
 $C_{p_{air}}$  = Panas jenis air (kJ/kg)

Energi penguapan air daun kelor

$$Q_i = W_r \cdot h_{fg} \quad (8)$$

Keterangan:

$Q_i$  = Energi pemanasan air daun kelor  
 $W_r$  = Berat air yang dipindahkan  
 $h_{fg}$  = Panas laten air (kJ/kg)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dari hasil uji menggunakan arduino diperoleh data temperatur dalam ruang pengering sebanyak 1.440 data/sensor. Peletakan sensor temperatur dalam ruang pengering dipasang pada setiap rak. Jumlah rak dalam ruang pengering terdapat 10 rak, sehingga jika di totalkan jumlah data temperatur dalam ruang pengering adalah 14.400 data. Untuk pengambilan data penurunan kelembaban dalam ruang pengering yaitu diambil setiap 10 menit. Pada penelitian ini, pengujian pengambilan data dilakukan selama 24 jam. sedangkan untuk pengambilan data temperatur udara yang keluar melalui fan diukur menggunakan *thermometer infrared*. Pengambilan data pengujian diukur pada setiap 10 menit selama 24 jam.

Dari hasil pengujian diperoleh data temperatur rata-rata dalam ruangan pengering yaitu 51°C, data penurunan kelembaban dalam ruang pengering dari awal pengujian 86% turun menjadi 23.5% setelah selesai pengujian serta data temperatur rata-rata udara yang keluar melalui fan adalah 45°C

### 3.1. Menghitung Laju Aliran Massa

Untuk menghitung laju aliran massa dapat dilakukan dengan beberapa langkah di bawah ini:

Menghitung kecepatan udara yang keluar melalui *fan*, kecepatan udara dalam mesin pengering dan menghitung laju aliran massa. Suhu udara yang keluar melalui *fan*:  
 $45^{\circ} C + 273 = 318 K$ , sehingga di peroleh data property fluida hasil interpolasi sebagai berikut:

$$\rho = 1.1054 \text{ Kg/m}^3 ; v = 17.70 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} ; \rho = 0.7419.$$

$$\begin{aligned} A_{fan} &= \pi (r_{fan})^2 \\ &= 3.14 \times 0.055^2 \\ &= 0.0095 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Kecepatan udara yang melalui *fan*

Diketahui  $r = 0,055 \text{ m}$

$Rpm_{fan} = 1.900$ , di konversi ke satuan meter per detik menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} Rps_{fan} &= \frac{rad. 2\pi}{s} = \frac{1900 \times 2\pi}{60} = 198.86 \\ V &= Rps. r = 198.86 \times 0.055 \text{ m} = 10.93 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Laju aliran massa

$$\begin{aligned} \dot{m}_{fan} &= \rho \times V \times A \\ &= 1.1054 \text{ Kg/m}^3 \times 10.93 \text{ m/s} \times 0.0095 \text{ m}^2 \\ &= 0.1148 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

### 3.2. Menghitung Laju Perpindahan Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi dalam ruang pengering di pengaruhi oleh aliran udara yang keluar melalui *fan* yang membawa keluar partikel panas. Adapun untuk menghitung laju perpindahan konveksi berikut:

$$Q_{conv} = h \times A (T_{in} - T_{out})$$

Untuk menghitung laju perpindahan panas secara konveksi ada beberapa yang dilakukan, menghitung *reynold number*, *nusselt number* dan menghitung koefisien konveksi.

Reynold Number (Re)

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V \times D}{v} \\ &= \frac{10.93 \text{ m/s} \times 0.11 \text{ m}}{17.70 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 67926.5536 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai *Reynold Number* yang diperoleh diatas, maka dapat disimpulkan bahwa aliran fluida tersebut adalah *turbulen*, dimana nilai  $Re > 4000$ .

Bilangan *Nusselt*

$$Nu_D = 0.332 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_D = 0.332 \times 67926.5536^{\frac{1}{2}} \times 0.7419^{\frac{1}{3}}$$

$$= 156.664$$

Maka, koefisien konveksi di peroleh:

$$h = \frac{Nu_D \times k}{D}$$

$$= \frac{156.664 \times 27.63 \times 10^{-3}}{0.11}$$

$$= 39.3511 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Jadi, laju laju perpindahan konveksi adalah:

$$Q_{conv} = h \times A (T_{in} - T_{out})$$

$$= 39.3511 \text{ W/m}^2 \cdot K \times 3.42 \text{ m}^2 (324K - 318K)$$

$$= 807.4845 \text{ W}$$

### 3.3. Menghitung kalor sensible $Q_{sensible}$

$$Q_{sensible} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

Diketahui temperatur dalam ruang pengering pada saat dinyalakan adalah:  $31^\circ C = 304 \text{ K}$ ,

sehingga diperoleh  $C_p = 1.0071 \text{ kJ/Kg} \cdot K$ ;  $\rho = 1.0764 \text{ Kg/m}^3$

Laju aliran massa ( $\dot{m}$ )

$$\dot{m} = \rho \times V_{fan} \times A_{fan}$$

$$= 1.0764 \text{ Kg/m}^3 \times 10.93 \text{ m}^2/\text{s} \times 0.005966 \text{ m}^2$$

$$= 0.0702 \text{ Kg/s}$$

$$Q_{sensible} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

$$= 0.0702 \text{ Kg/s} \times 1.0071 \text{ kJ/Kg} \cdot K \times (324 - 304)$$

$$= 1.4139 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$= 1.413.9 \text{ W}$$

### 3.4. Menghitung kalor yang digunakan mesin pengering ( $Q_{in}$ )

$$\begin{aligned} Q_{in} &= Q_{conv} + Q_{sensibel} \\ &= 807.4845 \text{ W} + 1.413.9 \text{ W} \\ &= 2.221.3845 \text{ W} \end{aligned}$$

### 3.5. Menghitung efisiensi mesin pengering

$$\begin{aligned} \eta_{mesin\ pengering} &= \frac{Q_{sensibel}}{Q_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{1.413.9 \text{ W}}{2.221.3845 \text{ W}} \times 100\% \\ &= 63.64\% \end{aligned}$$

### 3.6. Menghitung Kebutuhan Energi Pengeringan Daun Kelor

Diketahui:

Massa bahan basa	: 2 kg
Massa bahan kering	: 0.2 kg
T <sub>awal</sub>	: 304 K
T <sub>udara pengering</sub>	: 324 K
Cp daun Kelor	: 1 kJ/kg.K
Cp air	: 1 kJ/kg.K
Panas laten penguapan (hfg)	: 2374.95, (interpolasi tabel temperatur <i>saturated water</i> A4)

#### a. Energi Pengeringan Daun Kelor

$$\begin{aligned} Q_r &= W_{bb} \cdot C_{p_{bb}} (T_2 - T_1) \\ &= 2 \text{ kg} \times 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} (324 - 304) \\ &= 40 \text{ kJ} \end{aligned}$$

#### b. Energi Pemanasan Air Pada Daun Kelor

$$\begin{aligned} Q_w &= W_{air} \cdot C_{p_{air}} (T_2 - T_1) \\ &= 0.9 \text{ kg} \times 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} (324 - 304) \\ &= 18 \text{ kJ} \end{aligned}$$

#### c. Energi Penguapan Daun Kelor

$$\begin{aligned} Q_i &= W_r \cdot h_{fg} \\ &= 1.8 \text{ kg} \times 2374.95 \text{ kJ/kg} \\ &= 4274.91 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Total energi yang dibutuhkan untuk mengeringkan 2 kg daun kelor dalam waktu 24 jam pengujian dilakukan, yaitu:

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_t + Q_w + Q_i \\ &= 40 \text{ kJ} + 18 \text{ kJ} + 4274.91 \text{ kJ} \\ &= 4332.91 \text{ kJ} \end{aligned}$$

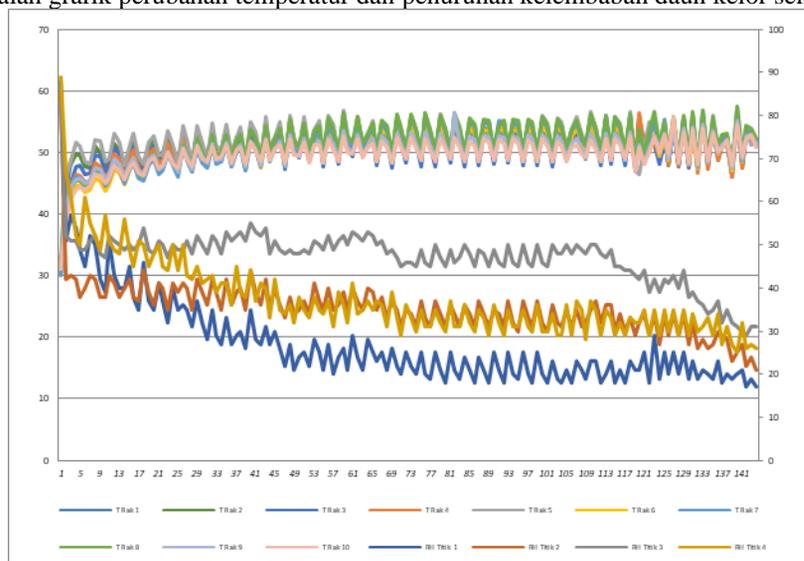
### 3.7. Pembahasan

Dari hasil pengujian 2 Kg daun kelor, target penurunan kelembaban dibawah 20% tercapai dimana terlihat pengukuran massa daun setelah melalui proses pengeringan yaitu  $\pm 10\%$ . Berikut adalah gambar daun kelor sebelum dan sesudah di keringkan:



(a) (b)  
**Gambar 2. massa daun kelor sebelum dan sesudah dikeringkan**

Berikut adalah grafik perubahan temperatur dan penurunan kelembaban daun kelor selama 24 jam:



**Gambar 3. Grafik hasil pengujian daun kelor**

Pada grafik temperatur pola perubahannya berbanding lurus dengan pola penurunan kadar air dalam ruang mesin pengering. Berdasarkan referensi yang dipakai peneliti dapat disimpulkan

bahwa semakin besar nilai kalor pengeringan makin besar pula nilai penurunan kelembaban. Hal ini terjadi karena lebih banyak kadar air yang diuapkan dari daun kelor keluar daripada lemari pengering. Hal terlihat pola pada grafik perubahan temperatur naik turun, hal ini disebabkan karena temperatur dalam mesin pengering sudah dikontrol oleh *thermostat*. *Thermostat* berfungsi memadamkan lampu secara otomatis apabila telah mencapai temperatur maksimum yang sudah ditentukan dan secara otomatis pula menyalakan lampu apabila sudah mencapai temperatur minimum yang sudah ditentukan. Temperatur maksimum yang digunakan adalah 45°C, sedangkan temperatur minimum yang digunakan adalah 40°C.

Temperatur dan kelembaban pada proses pengeringan didalam lemari menunjukkan adanya hubungan diantara keduanya. Hal ini tampak dengan seperti yang dijelaskan pada bagian diatas, dimana ketika temperatur naik kelembaban turun. Proses ini selama pengeringan berlangsung terjadi perubahan kelembaban yang awalnya adalah 89% menjadi 30%. diamati terlihat bahwa penurunan kelembaban dalam ruang mesin pengering pada waktu pengujian awal sampai kira-kira 8 jam. Selanjutnya, pola penurunan kelembaban setelah 8 jam terlihat lambat. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu temperatur dan kelembaban. Perubahan temperatur pada standar yang telah di tentukan bisa berpengaruh ketika temperatur pada daun kelor dalam mesin pengering sama atau mendekati temperatur lingkungan dalam mesin pengering. Kelembaban pada lingkungan dalam mesin pengering sama atau mendekati persentase kelembaban pada daun kelor sehingga hal ini menyebabkan lamanya penurunan kelembaban.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan analisis perpindahan panas pada mesin pengering daun kelor tipe *tray dryer*, diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Mesin pengering mampu mengeringkan daun kelor mentah sebanyak 2 kg. Berat akhir daun kelor setelah dikeringkan adalah 200 gram.
2. Kelembaban awal dalam mesin pengering adalah 86%, setelah melalui proses pengeringan selama 24 jam menjadi 23.5%.
3. Sebaran panas dalam mesin pengering dianggap cukup merata karena selisi temperatur antara setiap rak berkisar dari **0.3 – 1.7 °C** dengan temperatur rata-rata dalam mesin pengering **51 °C**.
4. Efisiensi mesin pengering daun kelor adalah **63.64%**.
5. Total energi yang dibutuhkan untuk mengeringkan 2 kg daun kelor dalam waktu 24 jam pengujian adalah **4332.91 kJ**.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aminah, Syarifah., Ramdhan, Tezar., Yanis, Muflihani. 2015. "Kandungan Nutrisi dan Sifat Fungsional Tanaman Kelor (Moringga Oleifera)" Buletin Pertanian Perkotaan 5.2, 10.
- [2] Nizam, Muhammad. 2010. "Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Berbasis Radial Untuk Menentukan Prediksi Waktu Pengeringan Gabah Pada Pengering Radiasi Infra Merah," 8. 2, 173.
- [3] Nugroho, Joko., Supeno, Destiani., Bintoro, Nursigit. 2013. "Pengeringan Singkong Menggunakan Pengering Tipe Rak." Seminar Nasional Sains & Teknologi V, 1250-1258.
- [4] Holman, J. Philp. (2010). Heat Transfer, New York: Higher Education.

- [5] Napitupulu, Farel H., Tua, Putra Mora. 2012. "Perancangan Dan Pengujian Alat Pengering Kakao Dengan Tipe Cabinet Dryer Untuk Kapasitas 7,5 kg Per Siklus." Jurnal Dinamis 2.10, 12.