

# Pengujian Rumah Pengering Daun Kelor dengan Efek Rumah Kaca (*Solar Dryer*) Melalui Variasi Kecepatan Udara

Verdy Ariyanto Koehuan<sup>a</sup>, Kristianus Yosafat Goa<sup>b</sup>, Muhamad Jafri<sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang, NTT, 85001.  
e-mail: [verdy.koehuan@staf.undana.ac.id](mailto:verdy.koehuan@staf.undana.ac.id)

## Kata kunci:

Proses Pengeringan  
Pengering Surya  
Daun Kelor  
Efek Rumah Kaca  
Kadar Air

## ABSTRAK

Proses pengeringan menggunakan pengering surya ultraviolet berupa pengering efek rumah kaca memiliki biaya operasional yang relatif rendah, sehingga berpotensi untuk dikembangkan dalam teknologi pengeringan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji parameter kinetik pengering daun kelor melalui variasi kecepatan udara keluar dari rumah pengering. Berat daun kelor yang akan dikeringkan dibagi rata ke dalam tiga rak pengering di rumah pengering dengan beban pengeringan yang sama yaitu 4,76 kg/m<sup>2</sup>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan variasi kecepatan keluar yaitu 0,5 m/s, 1,0 m/s, dan 1,36 m/s kekurangan energi panas yang cukup untuk mengubah mekanisme perpindahan panas konveksi pada pengering menjadi konveksi paksa. Sedangkan efisiensi pengeringan meningkat dengan bertambahnya kecepatan aliran keluar, karena kondisi saluran masuk yang tidak diatur sehingga aliran udara masuk yang membawa uap air (terutama saat mendung) meningkatkan kelembaban udara di dalam pengering. perumahan termasuk kadar air bahan dan secara bersamaan mengurangi laju pengeringan dan efisiensi rumah pengering.

## Keyword:

*Drying Process*  
*Solar Dryer*  
*Moringa Leaves*  
*Greenhouse Effect*  
*Moisture Content*

## ABSTRACT

*The drying process using an ultraviolet solar dryer in the form of a greenhouse effect dryer has relatively low operating costs, so it has the potential to be developed in food drying technology. This study aims to test the kinetic parameters of the Moringa leaf dryer through variations in air velocity leaving the dryer house. The weight of the Moringa leaves to be dried is divided evenly into three drying racks in the drying house with the same drying load, which is 4.76 kg/m<sup>2</sup>. The results showed that with variations in the exit velocity, namely 0.5 m/s, 1.0 m/s, and 1.36 m/s, they lacked sufficient thermal energy to change the convection heat transfer mechanism in the dryer into forced convection. While the drying efficiency increases with the increase in the velocity of the outflow, due to the condition of the inlet that is not regulated so that the inlet airflow carrying water vapor (especially when it is cloudy) increases the humidity of the air in the dryer housing including the moisture content of the material and simultaneously reduces the drying rate and efficiency of the dryer housing.*

## 1. PENDAHULUAN

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan suatu daerah dengan tingkat kekeringan yang cukup tinggi, dimana musim kemarau relatif lebih lama dari pada musim hujan. Hal ini mempengaruhi jenis dan karakter tumbuhan yang ada di wilayah NTT dalam menyesuaikan diri dengan kondisi iklim tersebut. Salah satunya adalah tanaman kelor yang mana telah beradaptasi dengan cuaca panas tersebut termasuk juga terhadap ketinggian tempat tumbuh dari permukaan laut, [1]. Kelor merupakan tanaman dengan aneka ragam manfaat, seperti untuk bahan makanan, obat-obatan, kosmetik, dan lain-lain. Oleh karena itu, tanaman kelor atau dalam Bahasa biologinya *moringa oleifera* merupakan suatu jenis tumbuhan yang sedang digalakkan, di dunia internasional, bahkan merupakan tanaman dengan beberapa julukan,

seperti: *the miracle tree*, *tree of life* dan *amazing tree*. Hal ini karena bagian pohon kelor, yaitu: daun, buah, biji, bunga, dan kulit batang hingga akar dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan hidup manusia [2], [3].

Daun kelor (*moringa leaves*) sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai sumber nutrisi, seperti yang ditunjukkan oleh Moyo et al, Amzu, dan Manggara & Shofi [4]–[6]. Daun kelor juga dimanfaatkan sebagai bahan antioksidan pengobatan alami, industri kosmetik, dan sebagainya seperti yang ditunjukkan dalam penelitian oleh Anwar, Zaku, dan Pratama Putra et al [2], [7], [9]. Hal ini memberikan peluang bagi masyarakat petani untuk dapat meningkatkan kesejahteraannya melalui budidaya tanaman kelor. Selain itu, bagi dunia industri juga dapat merupakan peluang investasi yang menguntungkan seperti industri proses pengolahan pasca panen produk tanaman kelor.

Proses pengolahan pasca panen secara khusus daun kelor tentu memerlukan teknologi yang tepat untuk mengurangi terjadi kerusakan nutrisinya, diantaranya pengaruh temperatur saat proses pengeringan dan penyimpanan [10]. Alakali et al [11] menyatakan bahwa daun kelor yang biasa dikonsumsi sebagai sayuran secara normal kaya akan nutrisi, sedangkan proses pengeringan terutama dengan metode pengeringan mekanik (*oven*), temperaturnya tidak boleh lebih dari 500 C karena dapat menurunkan kadar nutrisi daun kelor.

Pengeringan merupakan suatu proses yang menggunakan energi panas untuk mengurangi kadar air bahan yang akan dikeringkan. Sumber panas yang digunakan selama proses pengeringan dapat diperoleh dari sinar matahari, proses pembakaran biomassa atau gas, dan energi listrik. Banyak metode pengeringan daun kelor telah dikaji, diantaranya Taufan et al [15] melakukan perbandingan pengeringan surya, pengering efek rumah kaca (ERK), pengering rak dengan pemanas gas, dan pengering rak dengan pemanas listrik. Hasil penelitian menunjukkan pengering dengan pemanas listrik memiliki lama waktu pengeringan lebih singkat jika dibandingkan dengan metode pengeringan yang lain. Aznury et al [15] memanfaatkan sinar matahari melalui *photovoltaic solar energy system* (SESF) untuk pengeringan daun kelor dengan waktu 4 jam, namun temperatur dalam ruang pengering tidak merata, sehingga karakteristik daun kelor seperti kadar air tidak seragam pada setiap raknya.

Pemanfaatan energi surya berupa rumah pengering efek rumah kaca (ERK), efisiensi pengeringannya tergantung pada durasi jam sinar matahari di hari tertentu, tekanan atmosfer, suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, curah hujan dan sebagainya [16], [17]. Pada saat kondisi cuaca mendung atau berawan, proses pengeringan dengan UV *solar dryer* masih dapat tetap berlangsung, namun dengan intensitas radiasi matahari yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan pada cuaca cerah.

Proses pengeringan daun kelor dengan UV *solar dryer* (ERK) biaya operasionalnya relatif murah, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan untuk teknologi pengeringan bahan pangan. Sementara metode pengeringan lain seperti yang telah dijelaskan di atas, lama waktu pengeringannya lebih cepat dari ERK namun biaya operasionalnya termasuk mahal, sehingga aplikasi untuk masyarakat terutama di pedesaan relatif sulit dijangkau. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, dilakukan kajian secara eksperimen, yakni pengujian rumah pengering daun kelor dengan efek rumah kaca (*solar dryer*) melalui variasi kecepatan udara keluar rumah pengering.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah metode eksperimental, yakni melalui pengujian rumah pengering daun kelor dengan efek rumah kaca (ERK) menggunakan plastik ultra violet (*uv solar dryer*) sebagai dinding maupun atap. Dalam pengujian ini akan dilakukan kajian pengaruh variasi kecepatan udara keluar terhadap beberapa parameter kinetika pengeringan, yaitu distribusi temperatur dan kelembaban udara, penurunan kadar air, laju pengeringan, konsumsi energi spesifik serta efisiensi rumah pengering. Bobot daun kelor dibagi secara merata pada tiga buah rak jemur dalam rumah pengering dengan beban pengeringan yang sama (4,76 kg/m<sup>2</sup>), lihat Gambar 1.

Pengujian dilakukan dengan mekanisme variasi kecepatan aliran udara keluar rumah pengering melalui bantuan dua buah *blower* atau *exhaust fan*. *Exhaust fan* yang digunakan dengan spesifikasi daya output 30 W dan diameter saluran 20 cm. Variasi kecepatan aliran udara di saluran keluar diatur dengan kecepatan 0,5 m/s, 1,0 m/s dan 1,36 m/s dan masing-masing variasi pengujian dilaksanakan selama dua hari, masing-masing dimulai dari pukul 11.00 hingga pukul 15.00 dengan lokasi pengujian di kampus

Universitas Nusa Cendana, Kupang-NTT (10°09'14.4"S 123°40'09.8"E). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2021, dengan data intensitas radiasi matahari setiap jam (pada jam 11:00 hingga pukul 15:00 Wita) diperoleh dari BMKG kota Kupang.

**2.1. Desain Rumah Pengering**

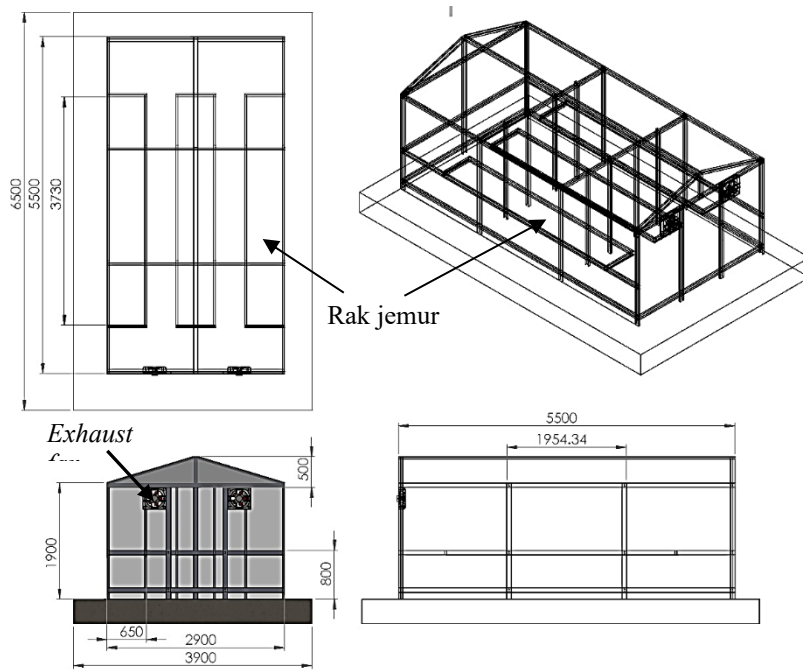
Desain rumah pengering daun kelor untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 dengan dimensi rumah pengering adalah panjang 5,5 m, lebar 2,9 m, tinggi 1,9 m. Rancangan rumah pengering daun kelor terdiri dari atas lantai beton, rangka baja ringan, dan atap maupun dinding dari plastik ultra violet. Bangunan pengering daun kelor ini merupakan ruang yang tertutup oleh dinding dan atap transparan atau plastik ultra violet (uv protector 6%) dengan lebar 3 m, tebal 0,20 mm (200 micron). Posisi rumah pengering melintang searah mata angin utara-selatan dengan posisi saluran keluar di dinding sebelah selatan dan saluran masuk di dinding sebelah utara. Saluran udara masuk terdiri dari dua buah lubang berbentuk persegi dengan ukuran masing-masing panjang 40 cm dan lebar 10 cm. Sedangkan rak jemur terbuat dari rangka baja ringan dan dilengkapi dengan *wiremesh stainless steel* untuk ditempatkan daun kelor. Sementara daftar alat ukur yang digunakan dalam penelitian pengering tipe ERK ini dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Nama alat ukur yang digunakan dan spesifikasi serta fungsinya.

No	Nama	Spesifikasi	Fungsi
1	<i>Temperature and humidity data logger</i> atau Elitech (RC-4 dan RC-4HC)	- Air temperature: 25.5°C, Relative humidity: 53.0% - Poin validasi: +40°C, 0°C dan -20°C - Toleransi: ± 0.5°C	Mengukur temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering
2	Timbangan digital	- Kapasitas timbang maksimum: 50kg / 10g	Mengukur bobot daun kelor sebelum dan sesudah penjemuran
3	<i>Hot Wire Anemometer</i> (Krisbow, KW06-653)	- Tipe: <i>Hot Wire Anemometer</i> - Netto weight: 11.00KG - Manufacturing-Number: KW0600653	Mengukur kecepatan angin pada saluran keluar di <i>exhaust fan</i> .



GAMBAR 1. Rumah pengering daun kelor yang dilengkapi dua buah exhaust fan dengan beban pengeringan pada tiga buah rak jemur.



GAMBAR 2. Desain rumah pengering daun kelor dengan plastik ultra violet (*solar dryer*), satuan dalam milimeter.

## 2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut.

1. Pemasangan dan uji fungsi alat ukur yang digunakan. Di dalam rumah pengering ditempatkan empat buah *data logger* temperatur dan kelembaban dengan posisi tergantung, seperti terlihat pada Gambar 1.
2. Timbang bobot daun kelor (sebelum dan sesudah penjemuran), masing-masing pada hari pertama (H1) dan hari kedua (H2) untuk setiap variasi kecepatan.
3. Pengujian dimulai dari pukul 11.00 hingga 15.00 selama dua hari untuk setiap variasi kecepatan (1,36 m/s, 1,0 m/s, dan 0,5 m/s) pada saluran keluar, sementara saluran masuk dibiarkan pada posisi terbuka.

## 2.3. Analisis Data

### 2.3.1. Kadar air

Kadar air bahan yang digunakan adalah kadar air basis basah ( $M_{wb}$ ). Bila bobot total daun kelor ( $W_t$ ) dan berat padatan daun kelor ( $W_d$ ), maka persamaan dalam penentuan kadar air adalah:

$$M_{wb} = \frac{W_t - W_d}{W_t} \times 100\% \quad (1)$$

### 2.3.2. Laju pengeringan

Laju pengeringan adalah banyaknya air yang diuapkan persatuan waktu atau perubahan kadar air bahan dalam satu satuan waktu. Laju pengeringan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W_{t0} - W_{t1}}{\Delta t} \quad (2)$$

Dengan  $dW/dt$  = laju pengeringan (%bb/jam),  $W_{t0}$  = kadar air pada waktu ke  $t$  (%bb),  $W_{t1}$  = kadar air pada waktu ke  $t +$  (%bb), dan  $\Delta t$  = selang waktu (jam).

### 2.3.3. Analisis perpindahan panas

Analisis perpindahan panas dan massa untuk pengeringan efek rumah kaca telah dilakukan oleh banyak penulis dalam mode konveksi alami dan paksa. Koefisien perpindahan panas konvektif ( $h$ ) di dalam rumah pengering dievaluasi oleh Persamaan 3 dan Persamaan 4. Dimana,  $C$  dan  $n$  adalah konstanta,  $Gr$  adalah bilangan Grashof,  $Pr$  adalah bilangan Prandtl,  $Re$  adalah bilangan Reynolds, dan  $Ri$  adalah bilangan Richardson.

Koefisien perpindahan panas konvektif alamiah:

$$Nu = \frac{hL}{k} = C(G_r P_r)^n \quad (3)$$

Koefisien perpindahan panas konvektif paksa:

$$Nu = \frac{hL}{k} = C(R_e P_r)^n \quad (4)$$

Untuk mencari angka Nusselt ( $Nu$ ) pada konveksi paksa maka digunakan persamaan :

$$Nu = 0,023(R_e^{0,8} P_r^n) \quad (5)$$

dimana  $n = 0,3$  untuk pendinginan dan  $n = 0,4$  untuk pemanasan.

Koefisien perpindahan panas konvektif alamiah berdasarkan persamaan Duffie dan Beckman yang diawali dengan menghitung Grashof number ( $Gr$ ), sebagai berikut:

$$Gr = \frac{g\beta L^3 \Delta T}{\nu^2} \quad (6)$$

Dengan  $\nu = \mu / \rho$  = viskositas ( $m^2/s$ ),  $\beta = 1/T$  = koefisien ekspansi termal ( $k^{-1}$ ),  $\Delta T = T_r - T_1$  = beda temperatur ruangan dan lingkungan ( $^{\circ}C$ ), dan  $T_{rat} = (T_c + T_a)/2(^{\circ}C)$

Bilangan Rayleigh:

$$Ra_L = Gr \times Pr \quad (7)$$

Panas yang keluar dari ruangan ke arah horizontal yang ditentukan dengan persamaan:

$$Q_h = \frac{3,6\Delta T_{di}}{\sum R_h} \quad (8)$$

Dimana  $\Delta T$  adalah  $T_r - T_1$  dan  $\sum R_h$  adalah total resistensi panas.

Panas yang keluar dari ruangan ke arah vertikal ditentukan dengan persamaan:

$$Q_v = \frac{3,6\Delta T_{ta}}{\sum R_v} \quad (9)$$

Dimana  $\sum R_v$  total hambatan yang melewati dinding dengan ketebalan dinding plastik UV, adalah  $x=0,00021$ .

Perpindahan panas radiasi yang keluar ( $Q_{rad,out}$ ) dari ruangan dengan nilai emisivitas plastik  $\varepsilon_m=0,94$ , waktu pengeringan (t) dan konstanta Boltzmann:

$$\sigma=5,6710^8 W/m^2.C^4 : \\ Q_{radout}=3,6\varepsilon_m A_d(T_d^4 - T_a^4)t \quad (10)$$

Total energi panas yang dilepaskan ( $Q_{loss}$ ) dari ruangan ke dinding ditentukan berdasarkan Persamaan 8 hingga Persamaan 10 adalah,

$$Q_{oss}=Q_h+Q_v+Q_{radout} \quad (11)$$

Energi surya melalui radiasi yang diterima oleh rumah pengering plastik UV dengan luas total,  $A_p$  adalah :

$$Q_s=3,6I_n A_p(\sigma\alpha)t \quad (12)$$

Panas untuk menaikkan suhu bahan adalah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu bahan berdasarkan massa awal, panas spesifik bahan serta perubahan temperatur.

$$Q_{sp}=m_{oj}C_{pj}(T_r - T_j) \quad (13)$$

Panas untuk menguapkan air bahan adalah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air pada bahan uji.

$$Q_{uap}=m_{uap} H_{pj} \quad (14)$$

Sehingga panas yang terpakai oleh rumah pengering, yang dihitung dengan persamaan :

$$Q_u=Q_{sp}+Q_{uap} \quad (15)$$

Dengan demikian, efisiensi termal rumah pengering dapat diperoleh dari Persamaan 2 hingga Persamaan 15 dengan persamaan berikut:

$$\eta_s = \frac{Q_{sp} + Q_{uap}}{Q_s + Q_u - Q_{oss}} \times 100\% \quad (16)$$

Dengan  $\eta_s$  = Efisiensi termal rumah pengering, dan  $Q_{loss}$  = Energy yang hilang karena rugi panas (kJ).

Analisis konsumsi energi spesifik (KES) diperoleh dari perbandingan antara energi total sistem terhadap massa air yang diuapkan, dengan persamaan berikut :

$$KES = \frac{Q_{TS}}{m_{uap}} \quad (17)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Distribusi Temperatur dan Kelembaban Udara

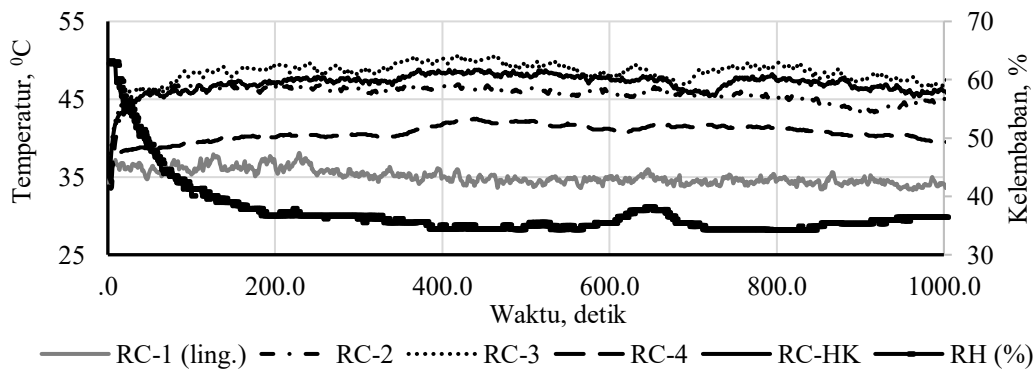
Pada pengujian ini, data temperatur dan kelembaban diukur dengan menggunakan alat *data logger* RC-1, RC-2, RC-3, RC-4 dan RC-HK yang diambil pada jam 11:00-15:00 WITA. Ketiga alat ukur, yaitu RC-



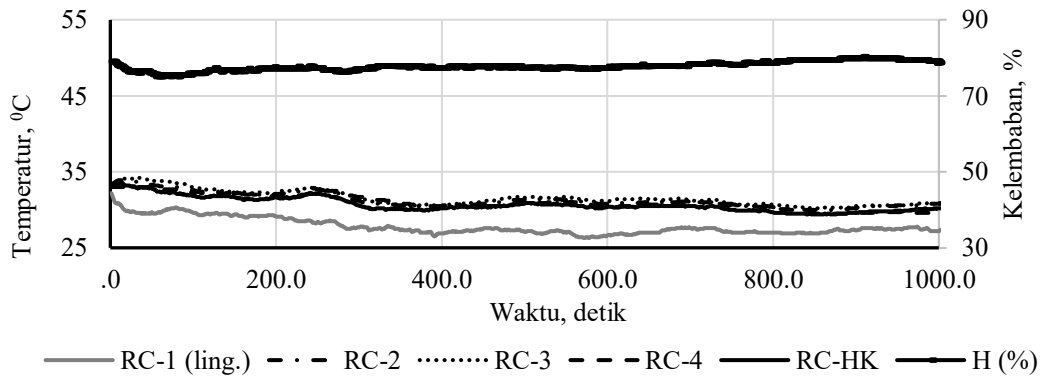
2, RC-3, RC-4 berfungsi untuk mengukur temperatur yang di dalam rumah pengering. *Data Logger* RC-1 ditempatkan di luar rumah pengering, untuk mengukur temperatur di luar rumah pengering (lingkungan), sedangkan sensor RC-HK berfungsi untuk mengukur temperatur sekaligus mengukur kelembaban di dalam rumah pengering yang ditempatkan di posisi kanan depan rak 1.

Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering dengan kecepatan angin 0,5 m/s dan 1,0 m/s mulai pukul 11.00 hingga 15.00 untuk hari ke-1 (H1) masing-masing dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Distribusi temperatur dan kelembaban udara dalam rumah pengering cukup seragam yang ditunjukkan oleh beberapa titik pengukuran menunjukkan hasil yang relatif sama walaupun berbeda posisi. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Runesi et al., 2020 dan Ndeo et al., 2021, dengan rumah pengering yang sama tapi dengan bahan pangan yang berbeda, yakni biji kopi masing-masing melalui kajian eksperimen dan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) yang memperlihatkan keseragaman distribusi temperatur dalam rumah pengering terhadap variasi kecepatan udara. Kondisi cuaca lingkungan yang ditunjukkan oleh parameter temperatur lingkungan (RC-1) sangat mempengaruhi distribusi temperatur di dalam rumah pengering. Hal ini terlihat dari peningkatan dan penurunan temperatur lingkungan, juga diikuti oleh peningkatan dan penurunan temperatur serta kelembaban udara dalam rumah pengering. Dari Gambar 4, terlihat perubahan cuaca lingkungan (mendung) menurunkan temperatur dalam rumah pengering dan sebaliknya kelembaban udara dalam ruang pengering meningkat akibat dari udara basah yang dominan masuk ke dalam rumah pengering melalui saluran udara masuk yang posisinya terbuka. Pada temperatur lingkungan yang cukup tinggi juga diikuti oleh peningkatan temperatur udara dalam rumah pengering, namun pada temperatur lingkungan redah sebaliknya temperatur udara dalam rumah pengering juga menurun.

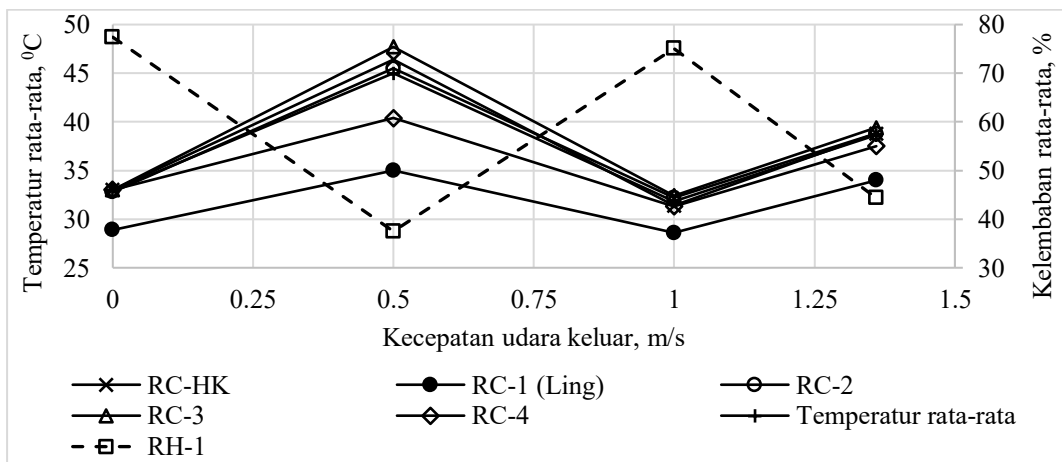
Kondisi temperatur dan kelembaban rata-rata udara di dalam rumah pengering seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 juga menunjukkan hal yang sama seperti penjelasan di atas. Pada saat cuaca lingkungan yang mendung, temperatur rata-rata lingkungan cenderung lebih rendah dari 30 0C, seperti pada hari ke-1 pengujian tanpa *blower* (*exhaust fan*) dan dengan variasi kecepatan 1,0 m/s. Hal ini menyebabkan temperatur dalam rumah pengering kurang dari 35 0C dan diikuti dengan peningkatan kelembaban udara di dalam rumah pengering hingga lebih dari 70%.



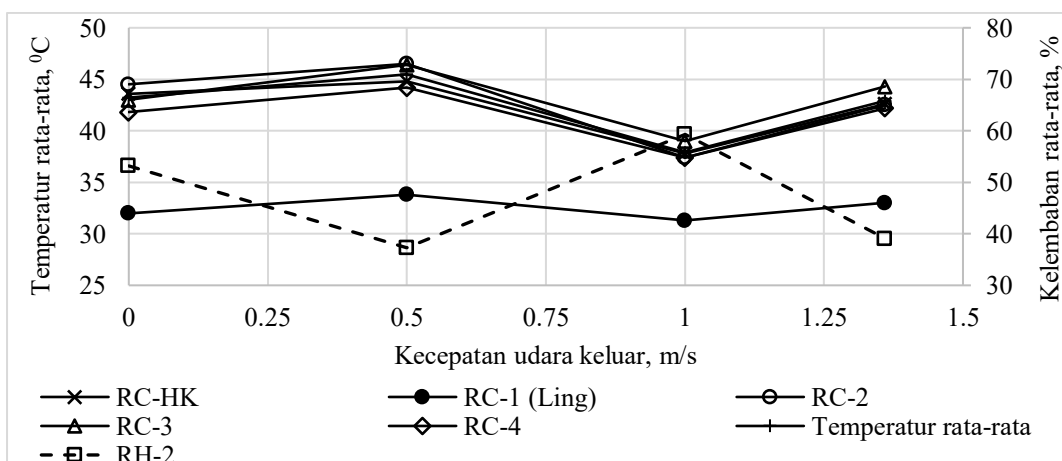
Gambar 3. Distribusi temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering terhadap waktu pengeringan pada hari ke-1 dengan kecepatan udara keluar 0,5 m/s, mulai pukul 11.00 hingga 15.00.



Gambar 4. Distribusi temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering terhadap waktu pengeringan pada hari ke-1 dengan kecepatan udara keluar 1,0 m/s, mulai pukul 11.00 hingga 15.00.



Gambar 5. Hubungan temperatur dan kelembaban rata-rata dalam rumah pengering terhadap variasi kecepatan, masing-masing pada hari ke-1.



Gambar 6. Hubungan temperatur dan kelembaban rata-rata dalam rumah pengering terhadap variasi kecepatan, masing-masing pada hari ke-2.

### 3.2. Pengaruh Variasi Kecepatan Terhadap Penurunan Kadar Air Bahan

Kecepatan udara keluar dari rumah pengering melalui *exhaust fan* diatur pada tiga tingkat kecepatan yaitu 0,5 m/s; 1,0 m/s; dan 1,36 m/s untuk melihat pengaruh kecepatan udara yang keluar dari rumah



pengering terhadap penurunan kadar air daun kelor. Proses pengukuran kadar air dalam penelitian ini menggunakan metode perhitungan kadar air basis basah. Kadar air basis basah adalah perbandingan antara berat air di dalam bahan tersebut dengan bahan keringnya.

Dari hasil pengukuran massa awal dan massa akhir pengeringan yang dilanjutkan dengan analisis kadar air basis basah daun kelor dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Ketiga tingkat kecepatan udara melalui *exhaust fan* ini menghasilkan nilai penurunan kadar air yang cenderung meningkat dengan naiknya kecepatan udara keluar. Berdasarkan analisis kadar air basis basah, diperoleh nilai tertinggi penurunan kadar air rata-rata pada sampel uji dengan kecepatan udara 1,0 m/s hari ke-2 sebesar 64,28%bb. Sementara pada pengujian hari ke-1, dimana pada variasi kecepatan 1,0 m/s diperoleh penurunan kadar air terendah karena faktor cuaca (mendung). Namun secara keseluruhan hasil pengujian menunjukkan adanya keseragaman penurunan kadar air pada setiap rak jemur.

### 3.3. Pengaruh Variasi Kecepatan Terhadap Laju Pengeringan

Laju pengeringan adalah banyaknya air yang diuapkan per satuan waktu atau perubahan kadar air bahan per satuan waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan antara lain temperatur udara, tekanan udara, kelembaban udara dan kecepatan angin [17]. Proses pengeringan sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca. Pada tingkat kelembaban udara lingkungan cukup tinggi, laju penguapan air di permukaan bahan juga menurun karena adanya uap air tambahan dari luar rumah pengering, begitupun sebaliknya. Peningkatan temperatur maupun kecepatan udara dapat mempercepat laju penguapan air di permukaan bahan [20].

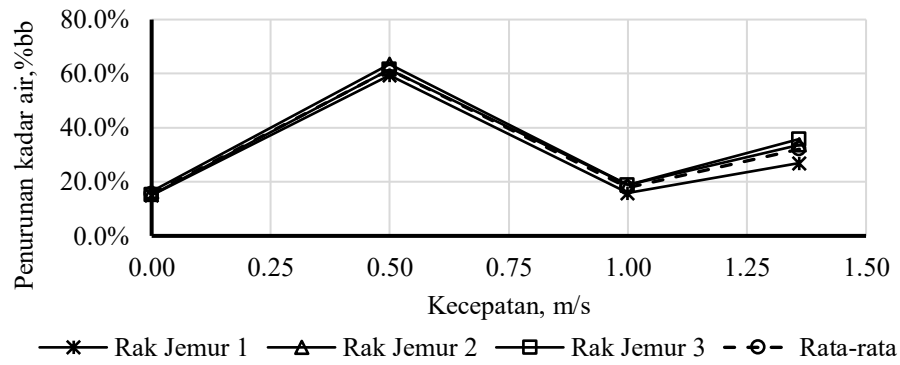
Gambar 9 menunjukkan laju pengeringan yang meningkat terhadap kenaikan kecepatan udara keluar. Namun pada hari ke-1 pengujian, terutama dengan kecepatan 1,0 m/s terdapat pengecualian, yakni adanya penurunan laju pengeringan yang mana hal ini disebabkan karena faktor cuaca (mendung).

### 3.4. Konsumsi energi spesifik (KES) dan efisiensi pengeringan

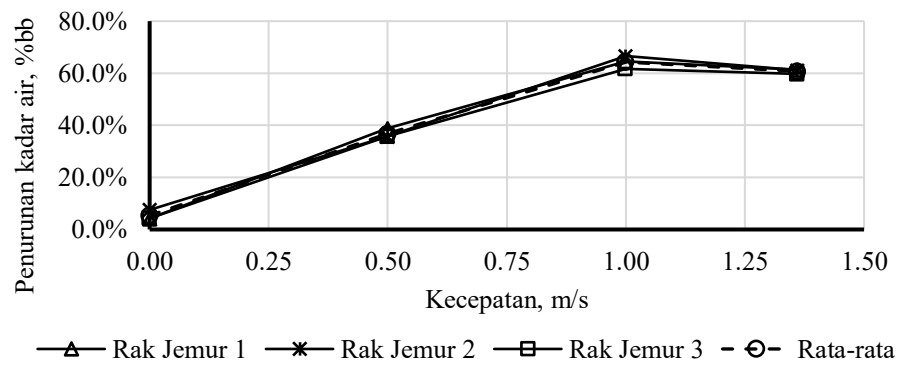
Analisis termal dari rumah pengering dapat dihitung berdasarkan jumlah panas radiasi yang masuk yang berguna untuk proses pengeringan bahan dan panas yang hilang akibat proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi, maupun radiasi. Efisiensi penggunaan energi merupakan salah satu parameter yang dapat menunjukkan apakah rumah pengering sudah bekerja secara optimal atau belum. Efisiensi penggunaan energi diperoleh dari penjumlahan panas untuk menaikkan suhu bahan dan panas untuk menguapkan air bahan terhadap energi total sistem dan kehilangan panas. Efisiensi penggunaan energi dihitung berdasarkan mekanisme perpindahan panas konveksi yang terjadi dalam rumah pengering.

Hasil analisis perpindahan panas konveksi menunjukkan bahwa walaupun ada gaya luar yakni dua buah blower dengan variasi kecepatan aliran keluar mulai dari 0,5 m/s, 1,0 m/s, dan 1,36 m/s, namun gaya apung atau *buoyancy* tetap lebih dominan dari gaya eksternal yang diberikan. Hal ini terlihat dari variasi kecepatan tertinggi, yakni 1,36 m/s menunjukkan angka Richardson atau  $Ri > 1,0$  dimana  $Gr$  atau bilangan Grashof yang cukup tinggi. Namun demikian, dalam analisis efisiensi penggunaan energi dilakukan berdasarkan kedua mekanisme konveksi, yakni konveksi paksa dan konveksi alamiah.

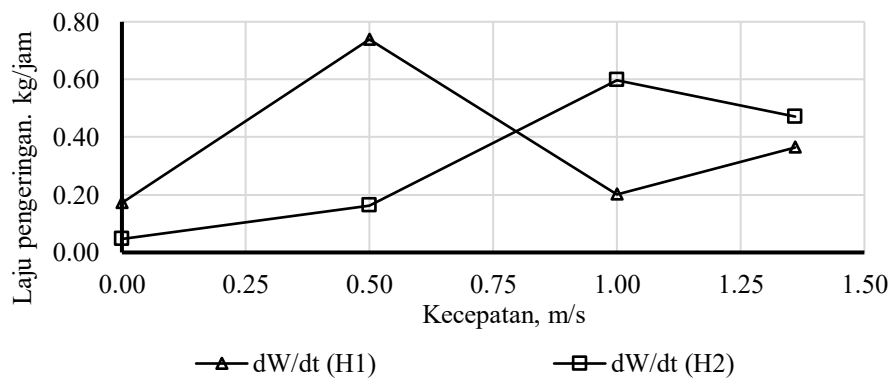
Konsumsi energi spesifik (KES) dan efisiensi pengeringan daun kelor, seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11 masing-masing menunjukkan adanya penurunan dan peningkatan dengan meningkatnya kecepatan udara keluar rumah pengering.



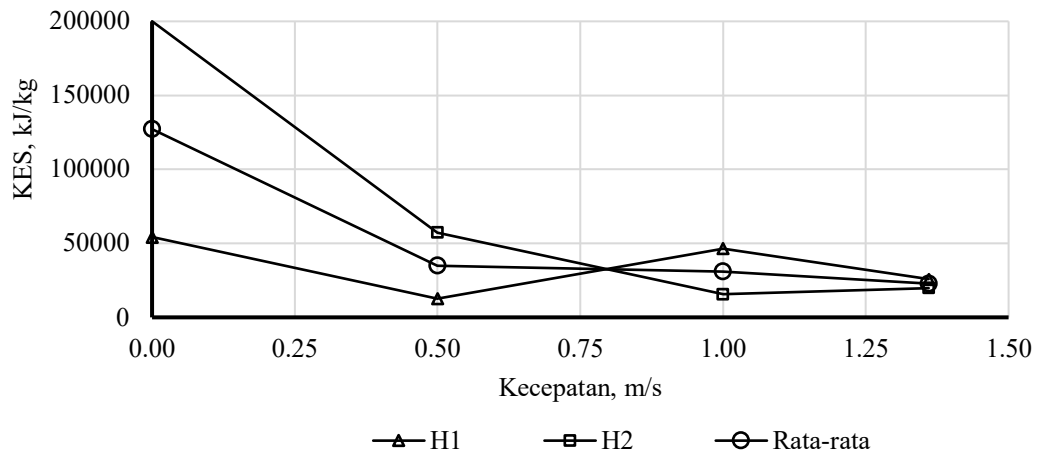
Gambar 7. Penurunan kadar air basis basah daun kelor terhadap variasi kecepatan, masing-masing pada hari ke-1.



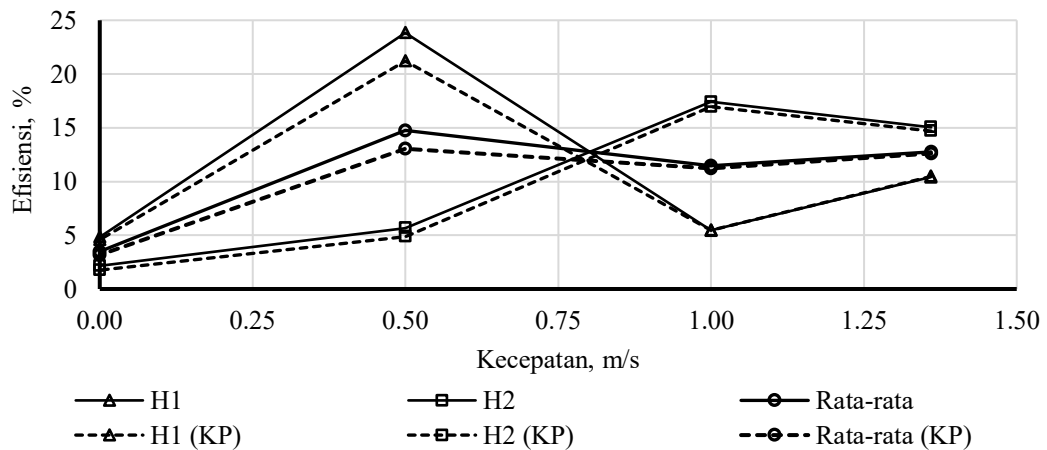
Gambar 8. Penurunan kadar air basis basah daun kelor terhadap variasi kecepatan, masing-masing pada hari ke-2.



Gambar 9. Laju pengeringan daun kelor terhadap variasi kecepatan, masing-masing pada hari ke-1 dan hari ke-1.



Gambar 10. Konsumsi energi spesifik (KES) terhadap terhadap variasi kecepatan, masing-masing pada hari ke-1 dan hari ke-2.



Gambar 11. Efisiensi pengeringan terhadap variasi kecepatan, masing-masing pada hari ke-1 dan hari ke-2 dengan model analisis konveksi alamiah dan konveksi paksa (KP).

Hasil analisis menunjukkan proses pengeringan dengan variasi kecepatan udara keluar rumah pengering sangat mempengaruhi parameter kinetika pengeringan. Penurunan kadar air yang tinggi akan memberikan dampak baik terhadap laju pengeringan daun kelor. Penurunan kadar air daun kelor ini sangat dipengaruhi beberapa parameter, seperti kecepatan udara, kelembaban relatif, temperatur di dalam dan luar rumah pengering. Masing-masing faktor tersebut dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi energi spesifik (KES) dan efisiensi pengeringan daun kelor.

Penurunan kadar air dan laju pengeringan daun kelor meningkat terhadap kenaikan kecepatan aliran udara keluar. Namun karena kondisi saluran masuk yang tidak diatur, maka setelah pengeringan selama dua hari untuk setiap variasi kecepatan udara diperoleh nilai terendah 3,3 %bb dengan laju pengeringan tertinggi 1,383 kg/jam dari asumsi kadar air awal 80 %bb, yakni terjadi pada variasi kecepatan udara 0,5 m/s. Sedangkan pada kecepatan angin 1,0 m/s, kadar air akhirnya masih di atas standar SNI (8%), yaitu 9,32 %bb dengan laju pengeringan terendah, yaitu 1,198 kg/jam.

Begitupun juga hubungan efisiensi pengeringan terhadap variasi kecepatan udara menunjukkan tren yang sama dengan penurunan kadar air dan laju pengeringan, juga seperti yang dilaporkan oleh [20] dan [16]. Efisiensi pengeringan selama dua hari pengujian untuk setiap variasi kecepatan udara menunjukkan nilai tertinggi pada hari ke-1 dengan kecepatan 0,5 m/s namun pada kecepatan ini juga terjadi efisiensi terendah pada hari ke-2. Tetapi secara keseluruhan selama dua hari pengujian diperoleh efisiensi rata-rata tertinggi pada variasi kecepatan udara 0,5 m/s sebesar 23,83 %.

Fenomena di atas terlihat sangat jelas pengaruh cuaca lingkungan terhadap proses pengeringan di dalam rumah pengering, [21]. Jika dikaitkan antara distribusi temperatur maupun kelembaban udara dalam rumah pengering dengan laju pengeringan, konsumsi energi spesifik (KES), dan efisiensi pengeringan, maka saling sinkron antar variabel tersebut. Ketika cuaca mendung, kelembaban udara lingkungan meningkat, tapi temperatur lingkungan cenderung turun yang mengakibatkan temperatur di dalam rumah pengering ikut turun. Penurunan temperatur di dalam rumah pengering ini juga diikuti dengan peningkatan kelembaban udara dalam rumah pengering akibat udara lembab yang masuk melalui saluran masuk. Hal ini mengakibatkan kadar air bahan menjadi tertahan atau sebaliknya mengalami penambahan kadar air karena udara lembab yang masuk dari luar rumah pengering. Keadaan ini tentu menghambat laju pengeringan, meningkatkan konsumsi energi spesifik, dan menurunkan efisiensi pengeringan.

Efisiensi pengeringan sangat menentukan tingkat efektivitas proses pengeringan daun kelor dengan menggunakan alat pengering tipe ERK. Semakin rendah energi yang dibutuhkan untuk mengeringkan tiap kg bahan maka efisiensinya semakin tinggi. Mekanisme pengaturan kecepatan aliran keluar rumah pengering yang sesuai melalui exhaust fan sangat memberikan kontribusi distribusi temperatur udara di dalam rumah pengering menjadi seragam. Temperatur udara dalam rumah pengering yang tinggi terjadi pada proses pengeringan dengan beban di kecepatan aliran rendah. Hal tersebut terjadi karena adanya alat bantu berupa exhaust fan yang berfungsi bukan hanya sekedar dapat menurunkan kadar air tetapi juga dapat menyeragamkan temperatur dan kelembaban udara di dalam rumah pengering.

Perpindahan panas konveksi yang terjadi di sekitar dinding rumah plastik UV didominasi oleh konveksi alamiah. Konveksi paksa melewati sebuah permukaan biasanya menggunakan rumusan angka Reynolds, angka Reynolds dan angka Nusselt. Angka Reynolds itu sangat tergantung kecepatan aliran di atas permukaan dinding dan panjang dinding, sedangkan angka Grashof selain panjang dinding, beda temperatur antara permukaan dinding dan lingkungannya juga berpengaruh. Tapi dalam kasus ini, kecepatan aliran yang divariasikan itu aliran melalui saluran keluar di blower, sementara permukaan atau dinding yang mau dihitung mekanisme konveksinya adalah dinding rumah pengering, yang tidak diketahui berapa kecepatan aliran di atas atau melewati permukaan tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan angka Richardson atau  $Ri \gg 1$ , sehingga tidak terjadi konveksi paksa karena angka Grashofnya tinggi atau dengan kata lain terjadi konveksi alamiah, dikarenakan gaya eksternal dari *blower* tidak langsung mengenai permukaan dinding rumah pengering, hanya akibat dari kerja *blower*, maka udara di sekitar permukaan dinding mengalami perubahan kecepatan aliran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cuaca lingkungan sangat berpengaruh terhadap proses pengeringan daun kelor dengan mekanisme konveksi paksa menggunakan alat pengering tipe ERK. Cuaca lingkungan yang mendung mengandung kelembaban tinggi akan ikut meningkatkan kelembaban di dalam rumah pengering melalui kandungan uap air yang terdapat di udara yang masuk melalui saluran udara masuk. Hal ini terlihat dari hasil pengujian pada kecepatan udara 0,5 m/s dan 1.0 m/s masing-masing menunjukkan perbedaan nilai efisiensi pengeringan maupun KES yang memiliki selisih nilai yang cukup tinggi antara hari ke-1 dan ke-2 akibat pengaruh perubahan cuaca lingkungan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan faktor cuaca saat pengeringan daun kelor agar kualitas daun kelor tetap terjaga. Hal ini terlihat dari hasil pengujian yang menunjukkan hasil visual daun kelor yang agak kekuning-kuningan ketika cuaca lingkungan selalu berubah-ubah dari cerah menjadi mendung dan sebaliknya.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian tentang rumah pengering daun kelor dengan efek rumah kaca menggunakan plastik ultra violet (*UV solar dryer*) telah dilakukan melalui mekanisme pengaturan kecepatan aliran udara keluar. Perpindahan panas konveksi yang terjadi di sekitar dinding rumah plastik UV didominasi oleh konveksi alamiah (nilai bilangan Richardson atau  $Ri > 1,0$  dimana  $Gr$  atau bilangan Grashof yang cukup tinggi) yang artinya mekanisme pengaturan kecepatan udara keluar rumah pengering dengan variasi kecepatan 0,5 m/s, 1,0 m/s, dan 1,36 m/s tidak cukup energi termal untuk merubah mekanisme perpindahan panas konveksi menjadi konveksi paksa.

Efisiensi pengeringan meningkat terhadap peningkatan kecepatan aliran keluar, namun karena kondisi saluran masuk yang tidak diatur sehingga aliran udara masuk yang membawa uap air (terutama disaat mendung) meningkatkan kelembaban udara dalam rumah pengering termasuk kadar air bahan dan sekaligus menurunkan laju pengeringan dan efisiensi rumah pengering.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fajri, R. Rahmatu, and N. Alam, "Kadar Klorofil Dan Vitamin C Daun Kelor (Moringa Oleifera Lam) Dari Berbagai Ketinggian Tempat Tumbuh Chlorophyll and Vitamin C Levels of Moringa Leaf (Moringa Oleifera Lam) Growing on Various Altitudes," *J. Agrotekbis*, vol. 6, no. 2, pp. 152–158, 2018.
- [2] S. G. Zaku, S. Emmanuel, A. A. Tukur, and A. Kabir, "Moringa oleifera: An underutilized tree in Nigeria with amazing versatility: A review," *African J. Food Sci.*, vol. 9, no. 9, pp. 456–461, 2015, doi: 10.5897/ajfs2015.1346.
- [3] W. Isnain and M. Nurhaedah, "Ragam Manfaat Tanaman Kelor ( Moringa oleifera Lamk) Bagi Masyarakat," *Info Tek. EBONI*, vol. 14, no. 1, pp. 63–75, 2017.
- [4] B. Moyo, P. J. Masika, A. Hugo, and V. Muchenje, "Nutritional characterization of Moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves," *African J. Biotechnol.*, vol. 10, no. 60, pp. 12925–12933, 2011.
- [5] E. Amzu, "Kampung Konservasi Kelor: Upaya Mendukung Gerakan Nasional Sadar Gizi Dan Mengatasi Malnutrisi Di Indonesia," *Risal. Kebijak. Pertan. Dan Lingkung. Rumusan Kaji. Strateg. Bid. Pertan. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 2, pp. 86–91, 2014, doi: 10.20957/jkebijakan.v1i2.10298.
- [6] A. B. Manggara and M. Shofi, "Analisis Kandungan Mineral Daun Kelor (Moringa oleifera Lamk.) Menggunakan Spektrometer XRF (X-Ray Fluorescence)," *Akta Kim. Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 104–111, 2018.
- [7] S. Anwar, E. Yulianti, A. Hakim, A. G. Fasya, B. Fauziyah, and R. Muti'ah, "Uji Toksisitas Ekstrak Akuades (Suhu Kamar) Dan Akuades Panas (70 Oc) Daun Kelor (Moringa Oleifera Lamk.) Terhadap Larva Udang Artemia salina Leach," *Alchemy*, vol. 3, no. 1, pp. 84–92, 2014, doi: 10.18860/al.v0i0.2900.
- [8] I. Pratama Putra, A. Dharmayudha, and L. Sudimartini, "Identifikasi Senyawa Kimia Ekstrak Etanol Daun Kelor (Moringa oleifera L) di Bali," *Indones. Med. Veterinus*, vol. 5, no. 5, pp. 464–473, 2016.
- [9] I. Putra, A. Dharmayudha, and L. M. Sudimartini, "Identifikasi Senyawa Kimia Ekstrak Etanol Daun Kelor (Moringa oleifera L) di Bali," *Indones. Med. Veterinus*, vol. 5, no. 5, pp. 464–473, 2016.
- [10] S. Aminah, T. Ramdhan, and M. Yanis, "Kandungan nutrisi dan sifat fungsional tanaman kelor (Moringa oleifera)," *Bul. Pertan. Perkota.*, vol. 5, no. 2, pp. 35–44, 2015.
- [11] J. S. Alakali, C. T. . Kucha, and I. A. . Rabi, "Effect of drying temperature on the nutritional quality of Moringa oleifera leaves," *African J. Food Sci.*, vol. 9, no. 7, pp. 395–399, 2015, doi: 10.5897/ajfs2014.1145.
- [12] A. Taufan et al., "Studi Eksperimental dan Model Matematika Pengeringan Daun Kelor (Moringa Oleifera) dengan Empat Tipe Pengeringan," *J. Ris. Teknol. Ind.*, vol. 14, no. 2, p. 341, 2020, doi: 10.26578/jrti.v14i2.6518.
- [13] A. Taufan, M. A. Karim, S. A. P. Novrinaldi, A. Haryanto, E. K. Pramono, and U. Hanifah, "STUDI EKSPERIMENTAL DAN MODEL MATEMATIKA PENGERINGAN DAUN KELOR (MORINGA OLEIFERA) DENGAN EMPAT TIPE PENGERINGAN EXPERIMENTAL STUDY AND MATHEMATICAL MODEL OF MORINGA OLEIFERA LEAVES DRYING WITH FOUR DRYING TYPES," 2020.
- [14] M. Aznury, M. D. Maulidi, and S. Yuliaty, "Analisa Perubahan Waktu terhadap Kualitas Hasil Pengeringan Daun Kelor (Moringa oleifera) menggunakan Photovoltaic Tray Dryer (Analysis)," *J.*

- Sci. Technol. Naskah, vol. 1, no. 2, pp. 175–181, 2021.
- [15] M. Aznury, M. D. Maulidi, and S. Yuliati, “Analisa Perubahan Waktu terhadap Kualitas Hasil Pengeringan Daun Kelor (*Moringa oleifera*) menggunakan Photovoltaic Tray Dryer.”
- [16] D. Vaghela, G. Bhautik, S. H. Sengar, and S. In, “Comparative Study of Solar Tunnel and Open Sun Drying for *Moringa Oleifera* Leaves,” *Int. J. Sci. Environ. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 472–476, 2018.
- [17] K. Rajesh, S. V. Moorthi, and E. Sivakumar, “Analyzing environmental parameters for drying of neem and moringa leaves in solar greenhouse dryer regions of southern India,” 2020.
- [18] R. Y. Runesi, V. A. Koehuan, and N. Nurhayati, “Studi Eksperimental Skala Laboratorium Rumah Pengering Kopi Menggunakan Plastik Ultra Violet (UV Solar Dryer) Dengan Mekanisme Konveksi Paksa,” *LONTAR J. Tek. Mesin Undana*, vol. 7, no. 02, pp. 28–37, 2020.
- [19] Y. P. Ndeo, V. A. Koehuan, and W. Bunganaen, “Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Rumah Pengering Kopi Menggunakan Plastik UltraViolet (UV) Solar Dryer,” *LONTAR J. Tek. Mesin Undana*, vol. 8, no. 01, pp. 11–20, 2021.
- [20] M. Premi, H. Sharma, and A. Upadhyay, “Effect of air velocity and temperature on the drying kinetics of drumstick leaves (*moringa oleifera*),” *Int. J. Food Eng.*, vol. 8, no. 4, 2012, doi: 10.1515/1556-3758.1986.
- [21] K. Aggarwal, M. Singh, and R. Zalpouri, “Effect of treatment and drying method ( Solar and convective ) on physico-chemical quality of dried moringa leaves,” *Int. J. Agric. Sci.*, vol. 17, no. 2, pp. 228–233, 2021, doi: 10.15740/HAS/IJAS/17.2/228-233.