

Pengujian Rumah Pengering Daun Kelor Dengan Efek Rumah Kaca (*Solar Dryer*) Melalui Mekanisme Konveksi Alami

Aloysius V.P Piamat¹, Verdy A. Koehuan¹, Muhamad Jafri¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380)881597

E-mail: verdy.koehuan@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan kajian secara eksperimen proses pengeringan daun kelor menggunakan rumah pengering plastik ultra violet (UV solar dryer) melalui mekanisme pengeringan konveksi alami. Hasil penelitian menunjukkan Kadar air akhir daun kelor setelah pengeringan selama dua hari (8 jam) sebesar 54,88 %bb dengan laju pengeringan total 0,417 kg/jam dari asumsi kadar air awal 80 %bb. Sementara efisiensi rata-rata pengeringan 3,49 % dengan konsumsi energi spesifik (KES) yang cukup tinggi, yaitu sebesar 127180,77 kJ/kg. Konsumsi energi spesifik (KES) tertinggi terjadi pada pengujian hari ke-2 sebesar 200056,37 kJ/kg dengan efisiensi terendah sebesar 2,154 %, sebaliknya KES terendah pada pengujian hari-1 sebesar 54305,17 kJ/kg dengan efisiensi tertinggi sebesar 4,83 %. Fenomena ini terlihat sangat jelas pengaruh cuaca lingkungan yang berubah-ubah terhadap proses pengeringan di dalam rumah pengering. Cuaca lingkungan sangat berpengaruh terhadap proses pengeringan daun kelor dengan mekanisme konveksi alami menggunakan alat pengering tipe ERK. Cuaca lingkungan yang mendukung 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.

ABSTRACT

This research was conducted by experimental study of moringa leaf drying process using ultra violet plastic dryer house (UV solar dryer) through natural convection drying mechanism. The results showed that the final water content of moringa leaves after drying for two days (8 hours) was 54.88 %bb with a total drying rate of 0.417 kg/hour from the assumed initial water content of 80 %bb. While the average drying efficiency of 3.49 % with specific energy consumption (KES) is quite high, which is 127180.77 kJ/kg. The highest specific energy consumption (KES) occurred on the 2nd day test at 200056.37 kJ/kg with the lowest efficiency of 2.154 %, while the lowest KES on the 1st day test was 54305.17 kJ/kg with the highest efficiency of 4.83 %. This phenomenon is very clear the influence of changing environmental weather on the drying process in the drying house. Environmental weather is very influential on the process of drying moringa leaves with a natural convection mechanism using ERK type dryer. Cloudy weather with high humidity will increase the humidity in the dryer house through the water vapor content in the air that enters through the air ducts.

Keywords: UV Solar Dryer, Greenhouse Effect, Moringa Leaves, Drying Efficiency, Natural Convections

PENDAHULUAN

Nusa Tenggara Timur merupakan salah satu daerah penghasil daun kelor dengan jumlah yang banyak di Indonesia. Daun kelor memiliki sifat yang mudah rusak setelah dipanen. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan daun kelor agar masa simpan lebih lama. Salah satu metode alternatif pengolahan daun kelor yaitu dengan cara pengeringan

yang selanjutnya dijadikan tepung sebagai sumber protein dan obat-obatan.

Pengeringan merupakan suatu cara mengeluarkan atau menghilangkan kadar air yang terkandung dalam suatu bahan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang dikandungnya menggunakan energi panas [1]. Secara umum pengeringan komoditi pertanian dilakukan dengan cara penjemuran atau dengan menggunakan alat pengering buatan. Penjemuran dengan sinar matahari merupakan

cara yang murah dan mudah dilakukan. Hal ini dikarenakan sifatnya yang melimpah mudah diperoleh dan ramah lingkungan, serta ketersediaannya yang tak terbatas di daerah tropis. Akan tetapi, pengeringan dengan cara penjemuran ini mempunyai beberapa kelemahan antara lain tergantung dari cuaca yaitu sukar dikontrol, memerlukan tempat penjemuran yang luas, mudah terkontaminasi dengan kotoran, dan memerlukan waktu yang lama. Menurut Yuwana, *et al.*(2011) [2], Seringkali terjadi masalah pada saat proses pengeringan berlangsung, terutama pada pengeringan dengan sistem konvensional atau penjemuran di bawah sinar matahari langsung. Oleh karena itu, agar dalam proses penjemuran tidak tergantung cuaca dan sebaran suhu mudah dikontrol, maka proses pengeringan komoditi pertanian dilakukan dengan menggunakan mesin pengering. Salah satu mesin pengering yang digunakan untuk proses pengeringan komoditi pertanian adalah mesin pengering Surya Efek Rumah Kaca (ERK) atau dikenal dengan nama pengering ERK yang di temukan oleh Abdullah, *et al* (1994) [3].

Pengembangan teknologi pengeringan merupakan terobosan dalam mengatasi mahalnya biaya proses pengeringan. Pemanfaatan energi surya berupa alat pengering Efek Rumah Kaca (ERK) juga merupakan alternatif untuk mengatasi kendala pengeringan dengan sinar matahari langsung yang umum berlaku di masyarakat seperti kapasitas yang rendah dan membutuhkan waktu yang lama, serta resiko kontaminasi dan gangguan dari binatang selama proses penjemuran yang menyebabkan hasil pengeringan menjadi kurang higienis.

Fekawati (2010) [4] melaporkan bahwa Pengering Efek Rumah Kaca adalah alat pengering berenergi surya yang memanfaatkan efek rumah kaca yang terjadi karena adanya penutup transparan pada dinding bangunan serta plat absorber sebagai pengumpul panas untuk menaikkan suhu udara ruang pengering. Lapisan transparan memungkinkan radiasi gelombang pendek dari matahari masuk kedalam dan mengenai elemen-elemen bangunan. Hal ini

menyebabkan radiasi gelombang pendek yang terpantul berubah menjadi gelombang panjang dan terperangkap dalam bangunan karena tidak dapat menembus pemiup transparan sehingga menyebabkan suhu menjadi tinggi [5].

Mesin pengering tipe ERK memanfaatkan energi surya yang dipancarkan oleh matahari. Energi yang dipancarkan matahari dihasilkan dari reaksi fusi yang mengubah hidrogen menjadi helium. Energi yang dihasilkan diperkirakan mencapai $3,8 \times 10^{23}$ kW. Walaupun jumlah energi yang dihasilkan matahari sangat besar, namun hanya $0,48 \times 10^6$ kJ/m² yang diterima oleh bumi. Apabila luas wilayah Indonesia sebesar $1,9 \times 10^{12}$ m², maka energi surya yang dapat dimanfaatkan mencapai $28,35 \times 10^{18}$ MW. Hal ini menunjukkan potensi energi surya cukup besar sebagai sumber energi untuk berbagai keperluan termasuk untuk pengeringan. Dalam mesin pengering tipe ERK sangat penting untuk memilih bahan transparan (*glazing materials*) yang akan digunakan sebagai penutup. Bahan transparan yang dipilih sebaiknya memiliki nilai transmisivitas cahaya yang tinggi. Contoh bahan transparan yang digunakan adalah *fiberglass polycarbonat*, dan *plastic UV Stabilizer* [6].

Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan dalam proses pengeringan daun kelor yang efisien dan mutu produk, maka dalam penelitian ini dilakukan kajian secara eksperimen proses pengering daun kelor menggunakan rumah pengering plastik ultra violet (*UV solar dryer*) melalui mekanisme perpindahan panas konveksi alamiah.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilaksanakan adalah metode eksperimental. Penelitian ini dilaksanakan dengan pengujian pada rumah pengering daun kelor menggunakan plastik ultra violet dengan pengukuran temperatur dan kelembaban udara ruangan pengering. Pengujian dilakukan mulai dari pukul 11.00 hingga pukul 15.00 melalui mekanisme konveksi alamiah. Eksperimen rumah

pengerian daun kelor menggunakan plastik ultra violet untuk menyerap panas dari sinar matahari dengan temperatur udara ruangan terkendali untuk memperoleh hasil pengeringan yang efisien. Panas sinar matahari yang diserap oleh plastik UV kemudian terdistribusi secara aliamiah dengan mekanisme perpindahan panas konveksi aliamiah. Bangunan pengering daun kelor ini merupakan ruang yang tertutup oleh dinding dan atap transparan atau plastik *ultra violet* kadar 6% *uv protector*, lebar 3 m, tebal 0,20 mm (200 micron). Alat ukur yang digunakan

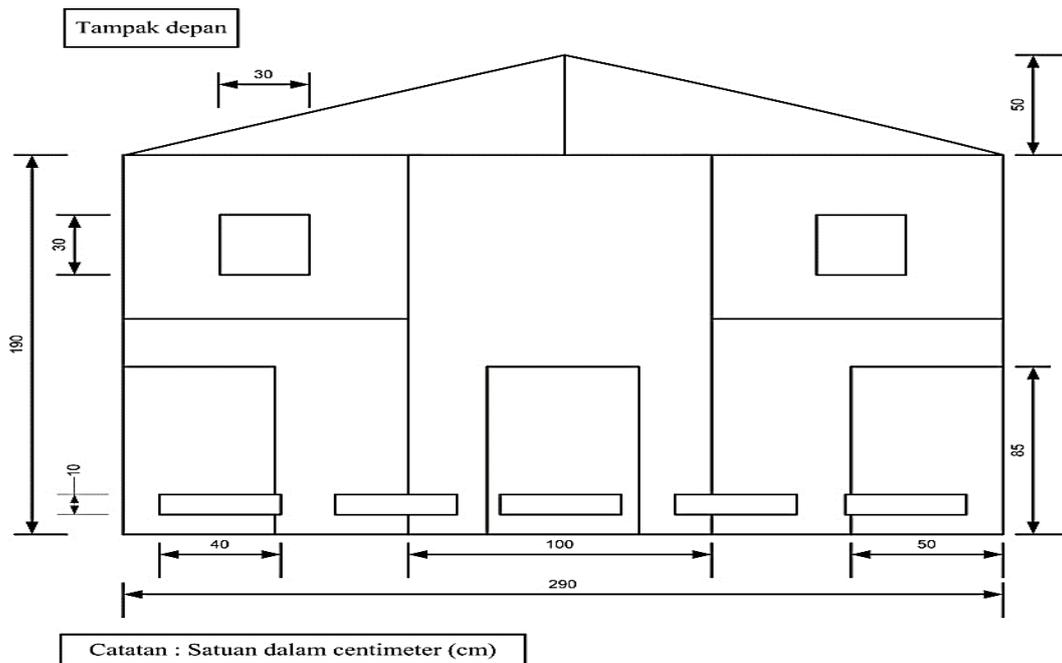
dalam penelitian pengering tipe ERK ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Dimensi Rumah Pengering Daun Kelor

Desain rumah pengering daun kelor untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. 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 plastik ultra violet. Sedangkan rak jemur terbuat dari rangka baja ringan dan dilengkapi dengan *wiremesh stainless steel* untuk ditempatkan daun kelor.

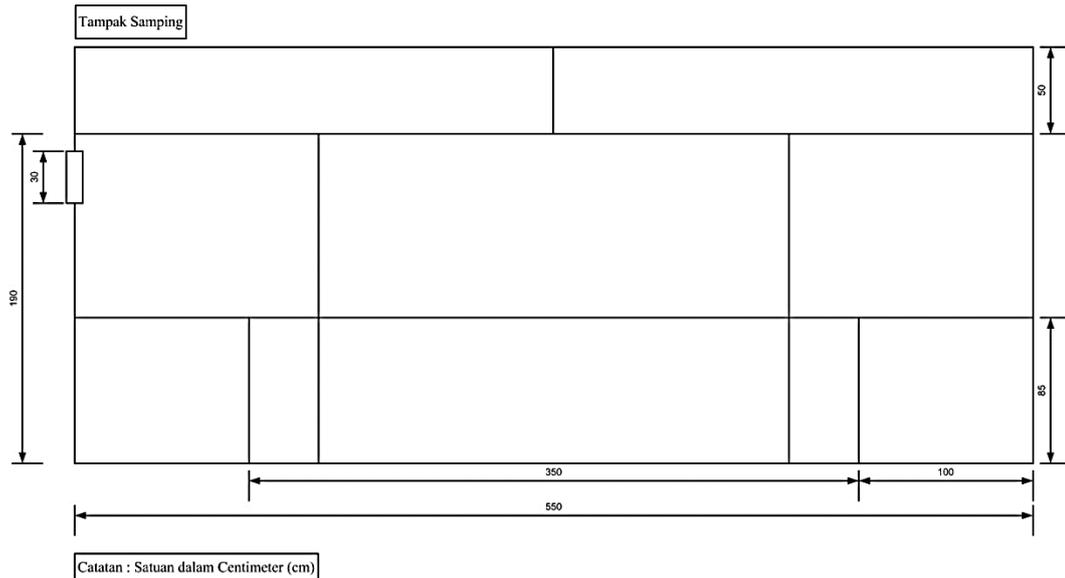
Tabel 1. Nama alat ukur yang digunakan dan spesifikasi serta fungsinya.

No	Nama	Spesifikasi	Fungsi
1	Temperatur dan humidity data logger atau Elitech (RC-4 dan RC-4HC)	- Air temperatur: 25.5°C, Relative humidity: 53.0% - Poin validasi: +40°C, 0°C dan -20°C - Toleransi: ± 0.5°C	Merekam dan mengolah data suhu & kelembaban dalam periode tertentu
2	Moisture Meter TK100W	- Display: 4 digital LCD - Measuring range: 0-80% - Temperatur: 0-60C - Humudity: 5%-90%RH - Resolution: 0.1 - Accuracy: 0.5%n.	Mengukur persentase air dalam suatu zat tertentu
3	Hot Wire Anemometer (Krisbow, KW06-653)	- Type: Hotwire Anemometer - SKU: KW0600653 - SAP SKU: KsW0600653 - Brand: KRISBOW - Netto weight: 11.00KG - Manufacturing-Number: KW0600653 - Dimension Unit: 40 X 29 X 11 CM.	Mengukur kecepatan angin atau udara dengan cara mengkonversi perubahan suhu menjadi kecepatan angin.



Gambar 1. Tampak depan rumah pengering, plastik *ultra violet* (UV solar dryer).

(Sumber : Pribadi)



Gambar 2. Tampak samping rumah pengering, plastik *ultra violet* (UV solar dryer).

(Sumber : Pribadi)



Gambar 3. Beban pengeringan daun kelor pada tiga buah rak jemur.

(Sumber : Pribadi)

Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol:

- Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian dilakukan yaitu intensitas radiasi matahari yang masuk rumah pengering setiap jam waktu pengeringan (pada jam 11:00 hingga pukul 15:00 Wita).
- Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat

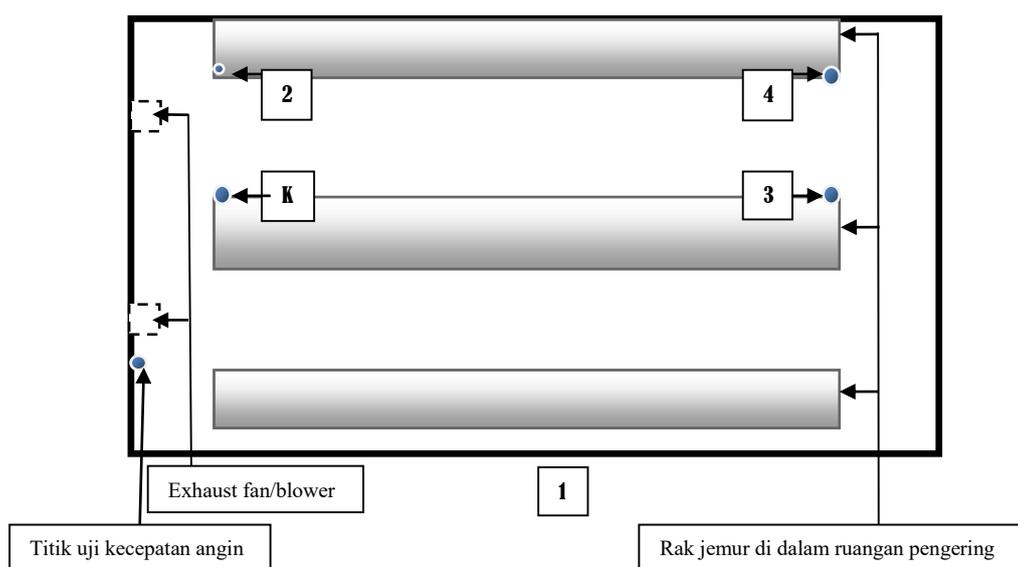
terdiri dari distribusi temperatur dan kelembaban udara, konsumsi energi spesifik serta efisiensi rumah pengering.

- Variabel kontrol terdiri dari beban pengeringan, luas permukaan rumah pengering, Plastik Ultra Violet (UV solar dryer) dengan tebal 0,2 mm berfungsi sebagai penutup rumah pengering untuk penyerapan radiasi matahari dengan kadar UV *protector* 6%, berat daun kelor dan rak jemur yang terdiri atas tiga rak di dalam rumah pengering sebagai tempat daun kelor dikeringkan dengan beban pengeringan yang sama ($4,76 \text{ kg/m}^2$), lihat Gambar 3.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut.

- Mempersiapkan data awal perancangan baik dari referensi yang ada maupun dari lapangan yakni, menghitung luas rak jemur, mengukur kadar air daun kelor (sebelum dan sesudah pengeringan), dan timbang berat daun kelor (sebelum dan sesudah pengeringan).
- Menempatkan enam titik pada alat penelitian guna memperoleh data studi eksperimental rumah pengering daun kelor menggunakan plastik ultra violet (*UV Solar Dryer*) dengan mekanisme konveksi paksa (Gambar 4).
- Pengambilan data diambil setiap jam, dari jam 11.00 sampai dengan 15.00 selama dua hari (H1 dan H2). Berikut mengukur temperatur suhu dan kelembaban di dalam ruangan pengering daun kelor.



Gambar 4. Sketsa untuk menentukan titik-titik alat uji.

Keterangan :

- (1) Titik uji temperatur suhu di luar ruangan pengering.
- (2) Titik uji temperatur suhu di dalam ruangan pengering.
- (3) Titik uji temperatur suhu di dalam ruangan pengering.
- (4) Titik uji temperatur suhu di dalam ruangan pengering (pada beban pengering).
- (K) Titik uji kelembaban di dalam ruangan pengering.

Parameter yang diukur

Suhu dan kelembaban ruang pengering dan sebarannya.

Pengukuran suhu dan kelembaban ini dilakukan dengan menggunakan sensor elitech RC-4 dan RC-4HC. Suhu yang diukur adalah suhu lingkungan atau suhu luar rumah

pengering dan suhu di dalam ruang rumah pengering seperti pada Gambar 4 di atas.

Kadar Air

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses pengeringan adalah kadar air. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air bahan sehingga menghambat perkembangan organisme pembusukan. Kadar

air suatu bahan berpengaruh terhadap banyaknya air yang diuapkan dan lamanya proses pengeringan. Struktur bahan secara umum dapat didasarkan pada kadar air yang biasanya ditunjukkan dalam persentase kadar air basis basah (M_{wb}) banyak digunakan dalam penentuan harga pasar sedangkan kadar air basis kering (M_{db}) digunakan dalam bidang teknik. Bila berat total daun kelor (W_t) dan berat padatan daun kelor (W_d), maka persamaan dalam penentuan kadar air adalah:

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

Laju pengeringan

Laju pengeringan adalah banyaknya air yang diuapkan persatuan waktu atau perubahan kadar air bahan dalam satu satuan waktu. Data yang diperlukan adalah bobot dan kadar air awal produk sebelum dikeringkan, bobot dan kadar air akhir produk yang telah dikeringkan, kadar air bahan selama proses pengeringan dan waktu pengeringan. Kadar air diukur menggunakan moisture meter. Selain itu juga dilakukan pengukuran terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi laju pengeringan meliputi kecepatan udara pengering, dan kelembaban udara (RH).

Laju pengeringan dapat dihitung dengan rumus;

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

Dimana;

dW/dt = laju pengeringan (%bb/jam)

W_{t0} = kadar air pada waktu ke t (%bb)

W_{t1} = kadar air pada waktu ke t + (%bb)

Δt = selang waktu (jam)

Waktu pengeringan

Lama pengeringan merupakan waktu total yang dibutuhkan untuk mengeringkan produk sampai kadar air yang diinginkan. Pengeringan akan dihentikan pada saat massa bahan telah konstan. Pengukuran kelembaban udara meliputi kelembaban udara di luar dan di dalam pengering, dimana pengukurannya dilakukan bersamaan dengan pengukuran suhu.

Analisis termal kinerja system rumah pengering

Analisis performa dari suatu sistem dan kolektor ditentukan menggunakan suatu keseimbangan energy salah satunya menggunakan energy panas dari matahari menjadi energy yang berguna. Untuk menentukan analisis termal dari rumah pengering dapat dihitung dengan persamaan dari Duffie dan Beckman yang diawali dengan menghitung *grashof number*, (Incropera, 2011).

Grashof Number (Gr):

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

Keterangan:

$\nu = \mu / \rho$ = viskositas (m^2/s)

$\beta = 1/T$ = koefisien ekspansi termal (k^{-1})

$\Delta T = T_r - T_1$ = beda temperatur ruangan dan lingkungan ($^{\circ}C$)

$$T_{rat} = (T_c + T_a)/2(^{\circ}C) \quad (4)$$

Bilangan Reynold, $Re_L = Gr \times Pr$, dengan nilai Pr (Prandtl number) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (5)$$

Bilangan Reynolds Re dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Re = \frac{V_{\infty} \cdot L}{\nu} \quad (6)$$

Sedangkan bilangan Richardson, Ri diperoleh dari:

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2} \quad (7)$$

Untuk nilai $Ri \gg 1,0$ dimana Gr atau bilangan Grashof yang cukup tinggi yang artinya perpindahan panas konveksi didominasi oleh gaya apung atau konveksi

alamiah, sebaliknya untuk $Ri \ll 1,0$ dimana Gr atau bilangan Reynolds yang cukup tinggi yang artinya perpindahan panas konveksi didominasi oleh gaya luar atau konveksi paksa

Untuk mendapatkan nilai panas yang ditransfer (h), untuk penggunaan bilangan Nu , k (konduktivitas termal), dan L (panjang rumah pengering) tergantung pada bagian yang akan dihitung atau dipertimbangkan. Temperatur (T) tergantung pada sisi yang mau dianalisis yakni arah vertikal dan arah horizontal, koefisien panas yang ditransfer dapat dihitung dengan :

$$h = \frac{kNu}{L} \quad (8)$$

Penggunaan bilangan Nu untuk perhitungan perpindahan panas di arah horizontal :

$$Nu = 0,274Ra_L^{1/4} \quad 10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10} \quad (9)$$

Penggunaan bilangan Nu untuk perhitungan perpindahan panas di arah vertikal

$$Nu = 0,68 + \frac{0,67Ra_L^{1/4}}{(1 + (0,492/Pr)^{9/16})^{4/9}}$$

$$\text{untuk } Ra_L \leq 10^9 \quad (10)$$

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

$$Q_h = \frac{3,6t\Delta T_{da}}{\sum R_h} \quad (11)$$

Dimana ΔT adalah $T_r - T_1$ dan $\sum R_h$ adalah total resistensi panas

Panas yang keluar dari ruangan ke arah vertical ditentukan dengan persamaan Q_v :

$$Q_v = \frac{3,6t\Delta T_{da}}{\sum R_v} \quad (12)$$

Dimana ΔT adalah $T_r - T_1$ dan $\sum R_v$ total hambatan yang melewati dinding dengan ketebalan dinding plastic UV, $x = 0,0002m$

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

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W / m^2 \cdot C^4 :$$

$$Q_{rad,out} = 3,6\varepsilon_m \sigma A_d (T_d^4 - T_a^4)t \quad (13)$$

Total energi panas yang dilepaskan (Q_{loss}) dari ruangan ke dinding ditentukan dengan,

$$Q_{loss} = Q_h + Q_v + Q_{rad,out} \quad (14)$$

Panas yang terpakai oleh rumah pengering, yang dihitung dengan persamaan :

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

Energy surya melalui radiasi yang diterima oleh rumah pengering plastik UV dengan luas total $24,547 m^2$ adalah :

$$Q_s = 3,6I_h A_p (\sigma\alpha)t \quad (16)$$

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

$$Q_{sp} = m_{Oj} C_{pj} (T_r - T_j) \quad (17)$$

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

$$Q_{uap} = m_{uap} H_{pj} \quad (18)$$

Untuk menghitung efisiensi termal alat tersebut digunakan persamaan :

Efisiensi penggunaan energi

Efisiensi energi pada proses pengeringan adalah perbandingan antara total output energi yang terpakai oleh produk yang dikeringkan dengan input energi pada sistem pengering

ERK tersebut. Data-data input energi yang diperlukan meliputi data jumlah energi surya yang diterima model pengering. Sedangkan data output energi berupa massa air yang diuapkan dari bahan (selisih berat akhir dan berat awal bahan), suhu bahan, suhu udara pengering, RH dan kecepatan volumetrik udara pengering.

Efisiensi termal adalah perbandingan antara panas yang diterima udara dalam mesin pengering dengan total input energi yang digunakan oleh mesin pengering. Kebutuhan energi spesifik merupakan jumlah energi yang diterima (masuk) dibandingkan dengan satu satuan massa air yang diuapkan dari daun kelor.

$$\eta_s = \frac{Q_{sp} + Q_{uap}}{Q_s - Q_{loss}} \times 100 \% \quad (19)$$

Keterangan :

- η_s = Efisiensi termal rumah pengering
- Q_{sp} = Panas untuk menaikkan suhu bahan (kJ)
- Q_{uap} = Panas untuk menguapkan air bahan (kJ)
- Q_s = Energy surya (kJ)
- Q_{loss} = Energy yang dibuang (kJ)

Konsumsi energi spesifik (KES)

Hasil analisis konsumsi energi spesifik di dapat dari perbandingan antara energi total sistem terhadap massa air yang di uapkan, dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$KES = \frac{Q_{rs}}{m_{uap}} \quad (20)$$

Kualitas produk yang dikeringkan

Kualitas produk yang dikeringkan dari mesin pengering dapat dilihat dari tingkat keseragaman kadar air bahan, warna, dan aroma. Kadar air bahan yang diukur meliputi kadar air awal, kadar air selama proses pengeringan dan kadar air akhir bahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

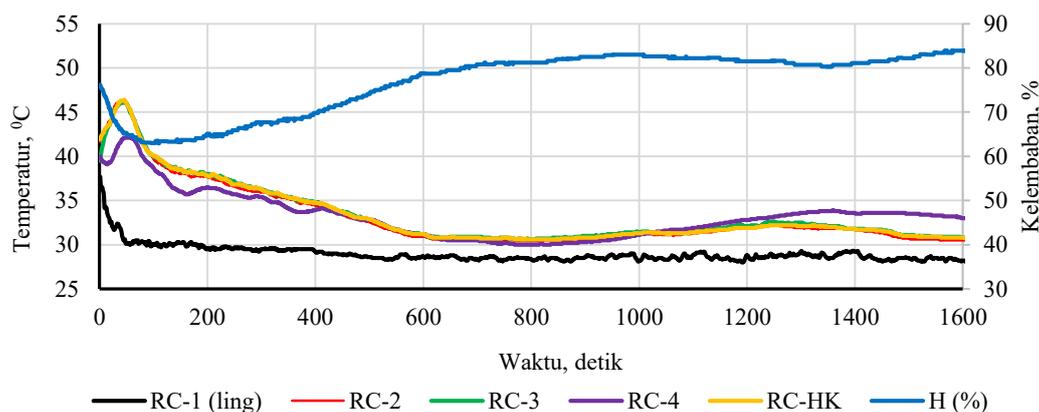
Analisis distribusi temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering

Pada pengujian ini data temperatur dan kelembaban diukur dengan menggunakan alat ukur berupa sensor 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. Sensor RC-41 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, di mana penempatan titik alat ukur (sensor) dapat dilihat pada Gambar 4.

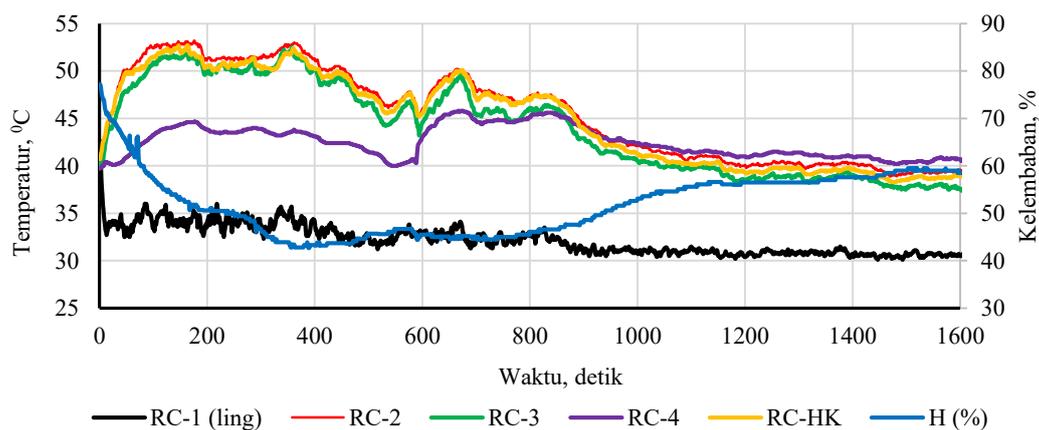
Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering dengan mekanisme perpindahan panas konveksi alamiyah pada hari ke-1 (H1) dan hari ke-2 (H2) dimulai pukul 11.00 hingga 15.00 (Gambar 5 dan Gambar 6). Kondisi cuaca pada lingkungan yang ditunjukkan oleh parameter temperature lingkungan (RC-1) sangat mempengaruhi distribusi temperatur di dalam rumah pengering. Hal ini terlihat dari tren peningkatan atau penurunan temperatur lingkungan, juga diikuti oleh peningkatan atau penurunan temperatur dalam rumah pengering. Ketika terjadi penurunan temperatur lingkungan yang diakibatkan adanya cuaca mendung (Gambar 5 dan Gambar 6), kelembaban udara dalam ruang pengering ikut naik akibat dari udara basah yang dominan masuk ke dalam rumah pengering. Pada saat temperatur lingkungan yang cukup tinggi juga diikuti oleh peningkatan temperatur dan penurunan kelembaban udara dalam rumah pengering. Sebaliknya pada saat temperatur udara lingkungan cukup rendah (di bawah 30⁰C), temperatur udara ruangan juga cenderung turun tapi diikuti dengan peningkatan kelembaban udara dalam rumah pengering.

Kondisi temperatur rata-rata dan kelembaban rata-rata di dalam rumah pengering seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 juga menunjukkan hal yang sama seperti penjelasan di atas. Pada saat cuaca lingkungan mendung, maka temperatur lingkungan cenderung lebih rendah dari 30 °C seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6 diikuti dengan peningkatan kelembaban udara. Pada

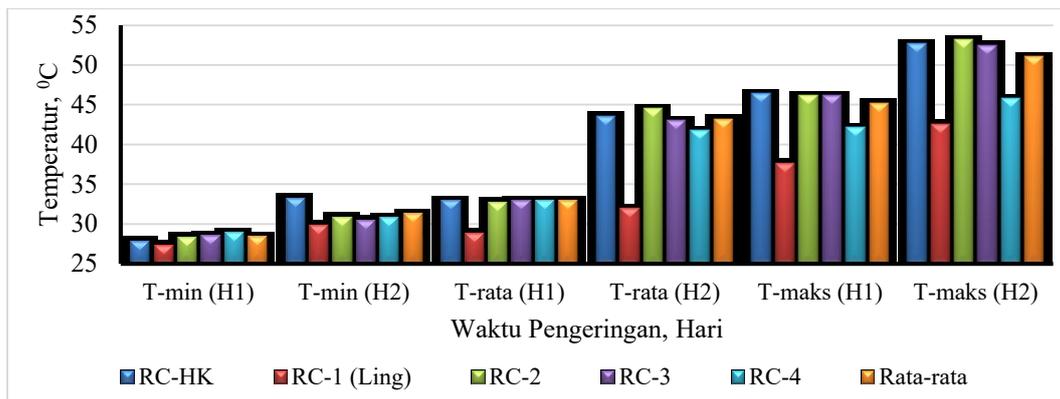
hari pertama (H1) pengujian, cuaca mendung tetapi temperatur lingkungan cenderung stabil, sementara pada pengujian hari kedua (H2), cuaca cerah di pagi atau pukul 11.00 hingga siang atau pukul 13.00, namun kondisi mendung setelah itu mengakibatkan perubahan drastis baik temperatur maupun kelembaban di dalam rumah pengering.



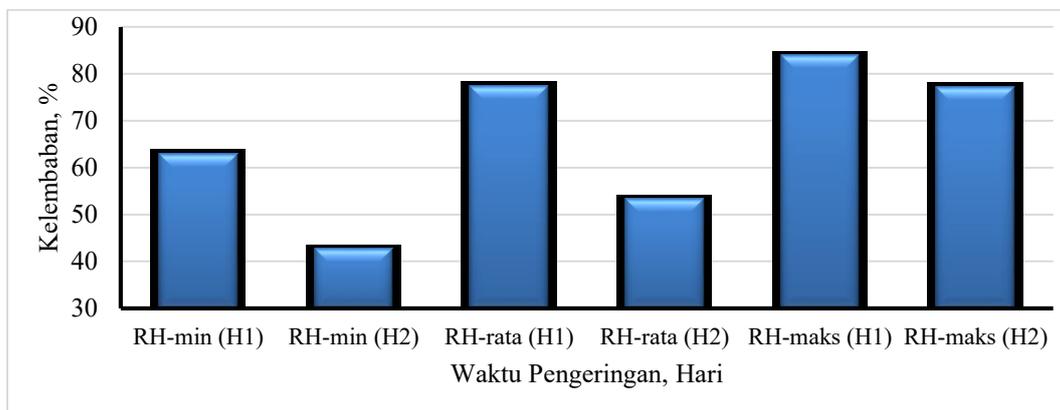
Gambar 5. Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering pada hari ke-1 tanggal 14 Desember 2020 mulai pukul 11.00 hingga 15.00.



Gambar 6. Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban dalam rumah pengering pada hari ke-2 tanggal 15 Desember 2020 mulai pukul 11.00 hingga 15.00..



Gambar 7. Rerata hasil pengukuran temperatur dalam rumah pengering hari ke-1 dan ke-2, tanggal 11 Desember 2020 dan 12 Desember 2020 dari pukul 11.00 hingga 15.00.



Gambar 8. Rerata hasil pengukuran kelembaban dalam rumah pengering hari ke-1 dan ke-2, tanggal 11 Desember 2020 dan 12 Desember 2020 dari pukul 11.00 hingga 15.00.

Pengaruh kecepatan udara terhadap kadar air daun kelor dalam rumah pengering

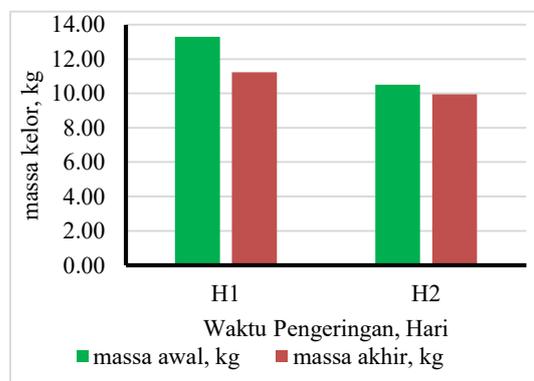
Proses pengukuran kadar air pada penelitian ini menggunakan metode perhitungan kadar air basis basah. Kadar air basis basah adalah perbandingan antara berat air di dalam bahan tersebut dengan bahan keringnya. Hasil pengukuran massa awal dan massa akhir dan analisis kadar air basis basah dapat dilihat pada Gambar 4.5 hingga Gambar 4.7 dimana beban penjemuran daun kelor terdistribusi secara merata pada setiap rak jemur dengan kapasitas daun kelor sebesar $4,764 \text{ kg/m}^2$ pada tiga rak jemur di dalam rumah pengering. Berdasarkan analisis kadar

air basis basah, diperoleh nilai tertinggi penurunan kadar air pada sampel uji hari ke-1 (H1) atau sampel V0H1. Sementara pada hari ke-2 pengujian, hanya terjadi sedikit penurunan massa kelor dengan kadar air yang dikeluarkan relatif rendah. Kadar air total untuk dua hari pengujian menghasilkan kadar air akhir basis basah $54,88 \%$ dari asumsi nilai kadar air awal 80% . Jumlah uap air yang dikeluarkan pada saat penjemuran dari hari pertama maupun hari kedua relatif rendah karena cuaca lingkungan yang mendung membawa kandungan uap air udara ke dalam rumah pengering yang akhirnya diserap oleh daun kelor.

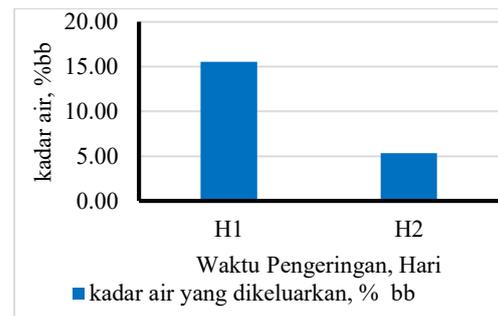
Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Laju pengeringan

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. Temperatur udara yang lebih besar dapat mempercepat laju penguapan air di permukaan bahan. 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.

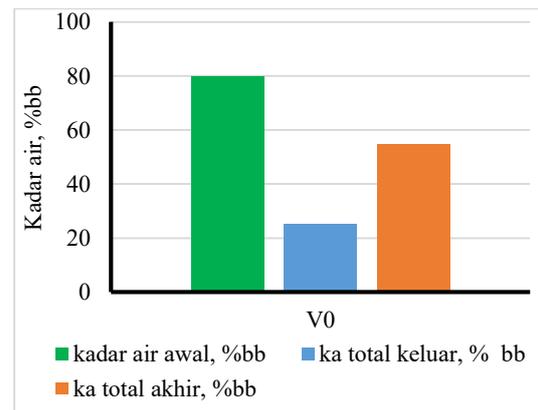
Gambar 12 menunjukkan laju pengeringan daun kelor pada hari kedua paling rendah sementara total laju pengeringan selama dua hari adalah 0,417 kg/jam Hasil analisis menunjukkan laju pengeringan tertinggi terjadi pada sampel uji V0H1 (pada hari ke-1) sebesar 0,17 kg/jam, sementara nilai terendah laju pengeringan sebesar 0,05 kg/jam pada sampel uji V0H1 (hari ke-2). Hal ini menunjukkan pada saat cuaca mendung tapi temperatur cenderung stabil, maka laju pengeringan tidak mengalami penurunan drastis jika dibandingkan dengan cuaca yang berubah-ubah dengan fluktuasi temperatur yang tinggi menyebabkan penurunan drastis laju pengeringan.



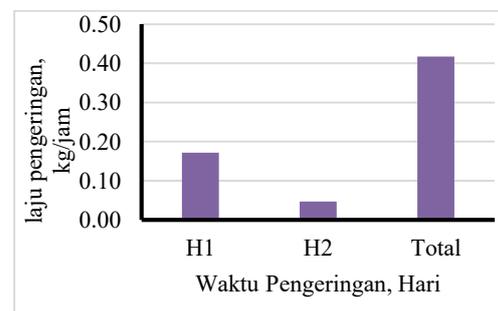
Gambar 9. Massa awal dan massa akhir daun kelor sebelum dan sesudah penjemuran.



Gambar 10. Kadar air atau uap air yang dikeluarkan akibat pengeringan daun kelor pada hari ke-1 (H1) dan ke-2 (H2).



Gambar 11. Kadar air awal, kadar air total dan kadar air akhir basis basah.



Gambar 12. Laju pengeringan daun kelor hari ke-1, ke-2, dan laju pengeringan total.

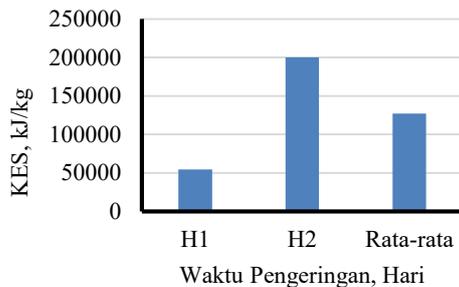
Pembahasan

Analisis nilai kadar air daun kelor sebelum pengeringan (daun kelor segar) berdasarkan asumsi sekitar 70% - 80%. Sementara berdasarkan syarat mutu yang terdapat pada

SNI daun kelor 01 – 2907 – 2008, kadar air daun kelor kering maksimal 8%. Dalam penelitian ini telah dilakukan analisis terhadap proses pengeringan yang memanfaatkan energi surya atau efek rumah kaca (ERK), jenis rumah rumah pengering menggunakan plastik ultra violet (*UV solar dryer*) dengan mekanisme konveksi alamiyah.

Hasil analisis menunjukkan proses pengeringan sangat mempengaruhi kadar air daun kelor. 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 karena penggunaan plastik ultra violet (*UV solar dryer*).

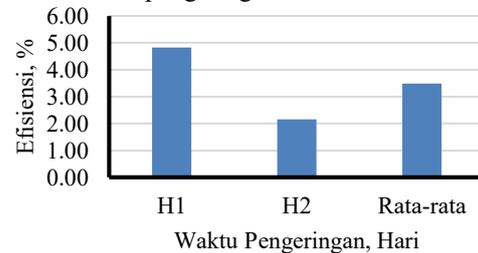
Masing-masing faktor tersebut dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi energi spesifik (KES) dan efisiensi pengeringan daun kelor. Konsumsi energi spesifik (KES) dan efisiensi pengeringan daun kelor dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 16. Konsumsi energi spesifik (KES).

Kadar air akhir daun kelor setelah pengeringan selama dua hari (8 jam) sebesar 54,88 %bb dengan laju pengeringan total 0,417 kg/jam dari asumsi kadar air awal 80 %bb. Sementara efisiensi rata-rata pengeringan 3,144 % dengan konsumsi energi spesifik (KES) yang cukup tinggi, yaitu sebesar 126853,50 kJ/kg. Konsumsi energi spesifik (KES) tertinggi terjadi pada pengujian hari ke-2 sebesar 199541,47 kJ/kg dengan efisiensi terendah sebesar 1,722 %, sebaliknya KES terendah pada pengujian hari-1 sebesar

54165,43 kJ/kg dengan efisiensi tertinggi sebesar 4,56 %. Fenomena ini terlihat sangat jelas pengaruh cuaca lingkungan yang berubah-ubah terhadap proses pengeringan di dalam rumah pengering.



Gambar 17. Efisiensi pengeringan.

Jika dikaitkan antara distribusi temperatur maupun kelembaban udara dalam rumah pengering serta laju pengeringan, konsumsi energi spesifik (KES), dan efisiensi pengeringan, maka saling berkaitan antar variabel-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, sehingga 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 efektifitas proses pengeringan daun kelor dengan menggunakan alat pengering tipe ERK. Semakin tinggi efisiensi maka akan semakin rendah energi yang dibutuhkan untuk mengeringkan tiap kg bahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cuaca lingkungan yang berubah-ubah sangat berpengaruh terhadap proses pengeringan daun kelor dengan mekanisme konveksi alamiyah 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 hari ke-1 dan hari ke-2 masing-masing menunjukkan perbedaan nilai efisiensi pengeringan maupun KES dengan selisih nilai yang cukup tinggi 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 dari kondisi cerah menjadi mendung atau sebaliknya.

SIMPULAN

Hasil penelitian terhadap rumah pengering daun kelor dengan efek rumah kaca menggunakan plastik ultra violet (*UV solar dryer*) melalui mekanisme konveksi alamiah maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kadar air akhir daun kelor setelah pengeringan selama dua hari (8 jam) sebesar 54,88 %bb dengan laju pengeringan total 0,417 kg/jam dari asumsi kadar air awal 80 %bb. Sementara efisiensi rata-rata pengeringan 3,144 % dengan konsumsi energi spesifik (KES) yang cukup tinggi, yaitu sebesar 126853,50 kJ/kg. Konsumsi energi spesifik (KES) tertinggi terjadi pada pengujian hari ke-2 sebesar 199541,47 kJ/kg dengan efisiensi terendah sebesar 1,722 %, sebaliknya KES terendah pada pengujian hari-1 sebesar 54165,43 kJ/kg dengan efisiensi tertinggi sebesar 4,56 %. Fenomena ini terlihat sangat jelas pengaruh cuaca lingkungan yang berubah-ubah terhadap proses pengeringan di dalam rumah pengering.
- Cuaca lingkungan sangat berpengaruh terhadap proses pengeringan daun kelor dengan mekanisme konveksi alamiah 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Supriyono, 2003. Mengukur Faktor-faktor dalam Proses Pengeringan. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- [2]. Yuwana, B.S & Silvia, E. 2011. Temperature and Realtive Humidity Gains of "Teko Bersayap" Model Solar Dryer (a Research Note). Poceeding of The International Seminar: "Exploring Rearch Potentials". Palembang.
- [3]. Abdullah K., Tahmrin, F.W & Wulandani, D. 1994. Optimasi Dalam Perencanaan Alat Pengering Hasil Pertanian Dengan Energi Surya. Laporan akhir penelitian hibah bersaing. Dapertemen Pendidikan Dan Kebudayaan IPB.
- [4]. Fekawati, R. 2010. Uji performansi pengering efek rumah kaca hybrid tipe rak berputar pada pengeringan jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). Skripsi. IPB. Bogor.
- [5]. Kamaruddin A. (1998). "Penerapan Energi Surya Dalam Proses Termal Pengolahan Hasil Pertanian". Jurnal Keteknikan Pertanian, Vol 12 (1): 56 - 73.
- [6]. Kurniasih. 2013. Khasiat dan Manfaat Daun Kelor. Pustaka Baru Press. Yogyakarta.
- [7]. Integrated Taxonomy Information System. 2017. *Moringa oleifera* Lamk. Taxonomy Serial No: 503874.
- [8]. Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M. & Gilani, A.H. 2007. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytother. Res.* 21, 17-25.
- [9]. Prajapati R.D., Murdia P.C., Yadav C.M & Chaudhary, J.L. 2003. Nutritive value of drumstick (*Moringa oleifera*) leaves in sheep and goats. *Indian Journal of Small Ruminants.* (2):136-137.

- [10]. Tie, J., Jianga, M., Lia, H., Zhanga, S & Zhangb, X. 2015. A Comparison Between Moringa Oleifera Seed Presscake Extract Andpolyaluminum Chloride In The Removal Of Direct Black 19 Fromsynthetic Wastewater Industrial Crops and Products. Pakistan Journal of Nutrition. 74: 530–534.
- [11]. Krisnadi A.D. 2015. Kelor Super Nutrisi. <http://www.Kelorina.com>. [19 Agustus 2017].
- [12]. Simbolan, J.M. & Katharina, N. 2007. Cegah Malnutrisi dengan Kelor. Kanisius. Yogyakarta.
- [13]. Verma, A.R., Vijayakumar, M., Mathela, C.S & Rao, C.V. 2009. In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of Moringa oleifera leaves. Journal Toxicol. 47:2196–2201.
- [14]. Foild, N., Makkar H.P.S & Becker. 2007. The Potential Of Moringa Oleifera for Agricultural and Industrial Uses. Dar Es Salaam. Mesir.
- [15]. Mahmood, K.T., Tahira. M., & Ikram, U.H. 2011. Moringa oleifera: a natural gift-A review. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 2 (11): 775-781.
- [16]. Shah. M. A., Bosco, S.J.D., & Mir, S.A. 2015. Effect of Moringa oleifera leaf extract on the physicochemical properties of modified atmosphere packaged raw beef. Food Packaging and Shelf Life, 3, 31–38.
- [17]. Roheim, A.R. 2015. Strategi Pengembangan Dan Nilai Tambah Pada Agroindustri Tanaman Kelor Pt. Pusaka Madura Di Kecamatan Bluto Kabupaten Sumenep. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Jember.
- [18]. Aminah, S., Ramdhan, T & Yanis, M. 2015. Kandungan Nutrisi dan sifat Fungsional Tanaman Kelor (Moringa oleifera). Buletin pertanian perkotaan. 5(2): 35-44.
- [19]. Syarif, A., Muhammad, F., & Darimiyya, H. 2014. Efektivitas Ekstrak Biji Kelor (Moringa oleifera) Sebagai Sifat Antimikrobia. Proseding Seminar Nasional.Optimalisasi Potensi Hayati Untuk Mendukung Agroindustri Berkelanjutan.
- [20]. Santoso, B.B., Arya I.G.P.P & Soemenaboedhy, S.I.N.Y. 2017. Pembibitan Tanaman Kelor Moringa oleifera L. Arga Puji Press. Mataram Lombok.
- [21]. Mitsui. 1997. New Cosmetic Science. Elsevier Science. New York.
- [22]. Agrowindo. 2015. Peluang Usaha Budidaya Daun Kelor Dan Analisis Usahanya. <http://www.agrowindo.com/peluang-usaha-budidaya-daun-kelor-dan-analisa-usahanya.htm> [12 Oktober 2017].
- [23]. Litbang Pertanian. 2017. Pedoman Umum Budidaya Pertanian di Lahan Pegunungan <http://www.litbang.pertanian.go.id/regulasi/one/12/file/BAB-V.pdf>. [13 Oktober 2017].
- [24]. Yayat, R. 2015. Sebaran Suhu pada Pengering Surya Efek Rumah Kaca (ERK) Tipe Kabinetdalam Proses Pengeringan Komoditi Pertanian. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [25]. Suhendra., Feby, N. 2017. Rancang Bangun dan Uji Kinerja Pengering Tipe Efek Rumah Kaca Dengan Saluran Pengarah Udara Panas. Jurnal Rona Teknik Pertanian. 10 (2): 45-55.
- [26]. Wijaya, A. 2007. Uji Unjuk Kerja Mesin Pengering Tipe Efek Rumah Kaca (ERK) Berenergi Surya dan Biomassa Untuk Pengeringan Biji Pala (Myristica sp.). Institut Pertanian Bogor.
- [27]. Hall, C.W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. AVI Publishing Company.Inc. Westport, Connecticut.
- [28]. Holman, J.P. 1995.Perpindahan kalor, Edisi ke Enam. Erlangga. Jakarta.
- [29]. Maulana, E. 2017. Perancangan Alat Pengering Biji Kakao Tipe Rotari Sederhana Pada Usaha Mandiri Di Desa Wiyono, Kabupaten Pesawaran Skripsi. Universitas Lampung.
- [30]. Ferdiansyah, Hadi. 2003. Kinerja Sistem Pengering Tipe Efek Rumah Kaca

Dengan Mekanisme Penggetaran.
Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
[31]. Taufan, A., Karim, M. A., Novrinaldi, S.
A. P., Haryanto, A., Pramono, E. K., &
Hanifah, U. (2020). Studi Eksperimental

Dan Model Matematika Pengeringan
Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) Dengan
Empat Tipe Pengeringan, *Jurnal Riset
Teknologi Industri*. Vol. 14, No. 02.