



Pengaruh perlakuan pendahuluan *pulse electric field* (PEF) pada kinetika pengeringan dan mikrostruktur daun kelor (*Moringa oleifera*)

Muhammad Yusuf Rachmadianto*, Sukardi, Dodyk Pranowo

Teknologi Industri Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia,

Article history

Diterima:

31 Oktober 2022

Diperbaiki:

22 November 2022

Disetujui:

7 Februari 2023

Keyword

Drying kinetics;

Moringa leaves;

Microstructure;

PEF;

ABSTRACT

Moringa leaves (Moringa oleifera) are a "Superfood" food ingredient rich in protein, phenolics, amino acids, and unsaturated fatty acids that benefit human health. Consumption in fresh form is prevalent, but the last decade has been plentiful in dry preparations. Pulse Electric Field (PEF) is one of the important preliminary treatments in drying vegetables and fruits. Electroporation on Moringa leaves is applied to determine the effectiveness and efficiency of drying on the leaves. The study aimed to determine the effect of PEF treatment before drying on the kinetics of drying and the microstructure of Moringa leaves. PEF treatment is carried out at voltages of 1000V, 1500V, 2000V and without PEF as a control. The treatment during drying was observed at the level of moisture content and effective diffusivity on each of the PEF and control treatments. Experimental data were entered into seven mathematical models and evaluated through Lewis, Page, Modified Page, Logarithmic, Two-term, Wang and Singh, and Simple exponential models. The results of the evaluation of the drying model were selected as the best drying mathematical model on the Logarithmic model. The highest diffusivity effective value at PEF with a voltage of 2000V of $3.25 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. In the microstructure changes of Moringa leaves, the preliminary PEF treatment was conducted using the scanning electron microscope (SEM) test. Moringa leaves with pretreatment PEF 2000V color analysis was lightness (L^), redness (a^*), yellowness (b^*), and ΔE values of 41.74 ± 0.34^a , -8.64 ± 0.28^c , 20.16 ± 0.94^a , 7.08 ± 0.53^c . The results of moringa leaves extract with pretreatment PEF 2000V were total phenols and IC_{50} values of 55.60 ± 1.24^d mg GAE/gram and 76.79 ± 0.77^a ppm. Implementing PEF preliminary treatment on drying is expected to accelerate the drying process and maintain a decrease in the quality of the final product of Moringa leaves.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email: myusufr@student.ub.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v18i1.17250

PENDAHULUAN

Daun kelor (*Moringa oleifera*) memiliki aktivitas antioksidan yang penting, sifat antibakteri, aktivitas antidiabetes, aktivitas hepatoprotektif yang signifikan, serta sifat antikanker (Pagano *et al.* 2020) Senyawa flavonoid antara lain flavon, flavonol, flavanon, isoflavon, dan antosianidin menunjukkan sifat biologis seperti anti-inflamasi, penyakit anti *alzheimer*, aktivitas anti-genotoksik dan antiglikatif (Makita *et al.* 2016). Ekstrak daun kelor telah diklaim memiliki fungsi farmakologis yang bermanfaat, aktivitas antioksidan yang tinggi dan mampu mengurangi toksisitas cadmium (Cd) dan kromium (Cr), dapat sebagai mediasi logam dan perangkap langsung radikal bebas (Braham *et al.*, 2020; Kerdsoomboon, Chumsawat and Auesukaree, 2020); (Kerdsoomboon *et al.* 2020).

Pengeringan adalah metode tertua untuk mengawetkan daun, dengan pengeringan yang terkontrol dengan baik, nutrisi serta warna dan aroma dapat dipertahankan pada daun kering (Babu *et al.* 2018). Selama pengeringan penurunan laju dapat diamati dengan bantuan model pengeringan lapis tipis, seperti model *Lewis*, *Page*, *Modifikasi Page*, *Logarithmic*, *Two term*, *Wang and Singh*, dan *Simple exponential* (Mbegbu, Nwajinka and Amaefule, 2021). Penggunaan model matematika dalam studi pengeringan sayuran berdaun dapat membantu memahami secara komprehensif parameter-parameter yang mempengaruhi selama proses pengeringan.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi non-termal seperti *Pulsed Electric Field* (PEF), telah dikembangkan sebagai metode yang menjanjikan untuk menghasilkan produk pangan berkualitas tinggi (Li *et al.* 2021). PEF disebut juga dengan istilah elektroporasi yaitu pemberian tegangan listrik pada sel, agar sel mengalami kerusakan dinding sel tanpa merusak komponen biotif yang ada di dalam sel (Sukardi *et al.* 2017). Perlakuan PEF pada daun teh segar sebelum ekstraksi memiliki keunggulan dalam meningkatkan hasil ekstraksi, menurunkan masukan energi, dan mengendalikan temperatur operasional, dan tanpa secara signifikan mengubah profil fenolik (Liu *et al.* 2019). Pada perlakuan PEF dengan daun teh segar menghasilkan hasil ekstraksi maksimum 27% dengan kuat medan listrik 0,9 kV/cm (Zderic and Zondervan 2017). Penelitian ini bertujuan untuk

mengetahui pengaruh perlakuan PEF sebelum pengeringan terhadap kinetika pengeringan dan mikrostruktur daun kelor.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun kelor segar selama proses pengeringan. Pada pembuatan ekstrak digunakan 5 gram daun kelor yang telah dikeringkan, 100 ml etanol 70% grade P.A tiap sampel, *alluminium foil*, kertas saring, botol kaca gelap dan plastik PP. Bahan uji total fenol dan aktivitas antioksidan yaitu aquades, etanol (*P.A Smart-Lab*), asam galat (*Sigma-aldrich*), natrium karbonat (Na_2CO_3) (*Merck*), *folin-ciocalteau* (*Sigma-aldrich*) dan *2,2-difenil-1-pikrilhidrazil* (DPPH) (*TCI-Japan*). Alat yang digunakan meliputi *food dehydrator* (Cheffman 50), generator PEF, *glassware*, *oven* (Memmert UN55), timbangan digital (Sartorius 5201-1S). Alat uji menggunakan *termometer* (HTC-2), *colorimeter* (PCE-CSM4), *scanning electron microscopy* (Hitachi).

Perlakuan Pulse Electric Field



Gambar 1 Pulse electric field

Pulse electric field yang digunakan menggunakan generator dengan chamber pada frekuensi sebesar 1500 Hz dan tegangan 1000 V, 1500 V dan 2000 V dengan waktu 15 menit. Perlakuan PEF dengan variasi tegangan pada daun kelor dilakukan sebelum proses pengeringan. Pengaruh tegangan yang diberikan pada bahan dapat meningkatkan konduktivitas listrik dan permeabilitas membran sel (González-Casado *et al.* 2018; Merugu *et al.* 2020);(Silve *et al.* 2016).

Pengeringan

Pengeringan daun kelor sebanyak 30gram dilakukan selama 8 jam dengan sebelumnya dilakukan perlakuan pendahuluan PEF. Perlakuan kontrol yaitu sampel tanpa perlakuan PEF pada

suhu 40°C, 50°C dan 60°C. Pada percobaan ini, dilakukan perlakuan pendahuluan PEF dengan suhu terkontrol sebesar 50°C dan tegangan yang bervariasi yaitu 1000 V, 1500 V, dan 2000 V. Pengujian kadar air dilakukan setiap 1 jam/sampel.

Model Matematika

Perhitungan data kadar air eksperimental dihitung sebagai *moisture ratio* (MR) menggunakan metode AOAC (1990), dengan pengeringan awal bahan 105°C selama 3 jam untuk menghitung *moisture ratio* digunakan Persamaan (1).

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \tag{1}$$

dimana M_t adalah kadar air pada waktu t dan M_0 adalah kadar air awal. Untuk menentukan kinetika pengeringan daun kelor, tujuh persamaan matematika yang terdapat dalam Tabel 1 digunakan untuk tujuan ini.

Model matematika dianalisis regresi menggunakan metode GRG-nonlinier (*Generalize Reduce Gradient*) dengan *Ms. Excel 2019*. Nilai kesalahan kuadrat (X^2), akar rata-rata kesalahan kuadrat (RMSE) dan penentuan koefisien (R^2), digunakan untuk memverifikasi kecocokan model yang disajikan pada Persamaan (2), Persamaan (3) dan Persamaan (4) (Alara et al. 2018).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2} \tag{2}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{0.5} \tag{3}$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N - np} \tag{4}$$

Tabel 1 Pilihan Pembentukan Model Matematika

Nama Model	Rumus	Sumber
Lewis	$MR = \exp(-dt)$	(Alara et al. 2018)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Wiktor et al. 2013)
Modified Page	$MR = \exp(-kt)^n$	(Wiktor et al. 2013)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Wiktor et al. 2013)
Two term	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(Alara et al. 2018)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang et al. 1978
Simple exponensial	$MR = a \exp(kt)$	(Alara et al. 2018)

Difusivitas Efektif

Difusivitas efektif ditentukan berdasarkan persamaan difusi hukum Fick’s kedua yang ditunjukkan pada Persamaan (5)-(7). Dimana L merupakan ketebalan material (m) (Alara et al. 2018):

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{eff} \cdot t}{4L^2}\right) \tag{5}$$

$$\ln MR = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} \cdot t}{4L^2}\right) \tag{6}$$

$$D_{eff} = Slope \cdot 4L^2 \pi^2 \tag{7}$$

Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian *scanning electron microscope* (SEM), dilakukan dengan prosedur, sampel diletakkan pada plat aluminium menggunakan perekat yang dilapisi lapisan tipis emas, selanjutnya menggunakan alat SEM pada tegangan 5 kV dan pembesaran 500 kali. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kenampakan dan morfologi pada daun kelor kering.

Uji Warna

Pengukuran warna diukur terhadap parameter L^* (*lightness*), koordinat warna (a^* , b^*). Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada titik pengamatan yang berbeda. Perhitungan untuk perbedaan warna total (ΔE) adalah sesuai persamaan (8) (Liu et al. 2020).

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \tag{8}$$

Uji Total Fenol dan Uji Aktivitas Antioksidan (IC₅₀)

Jumlah senyawa fenolik dalam ekstrak daun dianalisis dengan menggunakan pereaksi Folin-Ciocalteu sesuai dengan metode yang digunakan Singleton *et al.*, (1999). Kadar senyawa fenol dalam ekstrak dihitung dengan persamaan (9).

$$C_t = \frac{C \times fp \times V}{g} \quad (9)$$

dimana C_t adalah konsentrasi total phenolic compound (mg GAE/gram ekstrak). C adalah konsentrasi asam galat (μg GAE/ml). V adalah volume larutan ekstrak yang diambil untuk pengujian (ml) dan g adalah bobot ekstrak yang digunakan untuk pengujian.

Prosedur pengujian aktivitas antioksidan yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan secara ringkas sebagai berikut. Dalam percobaan, sebanyak 60 μM DPPH dilarutkan dalam 3 ml etanol, kemudian sejumlah ekstrak yang berbeda ditambahkan 0,5 ml. Blanko dilakukan dengan 0,5 mL etanol 99% sebagai pengganti ekstrak. Absorbansi dipantau pada 517 nm. Laju penghambatan radikal bebas DPPH (IR) dihitung dengan Persamaan (10) (Wang *et al.* 2017):

$$IR = (A_0 - A_s) / A_0 \times 100\% \quad (10)$$

di mana A_0 adalah absorbansi dari percobaan blanko dan A_s adalah absorbansi sampel. IR adalah 50%, konsentrasi yang dinamakan IC₅₀.

Oleh karena itu, nilai IC₅₀ diperoleh dengan menyesuaikan konsentrasi sampel dan laju penghambatan.

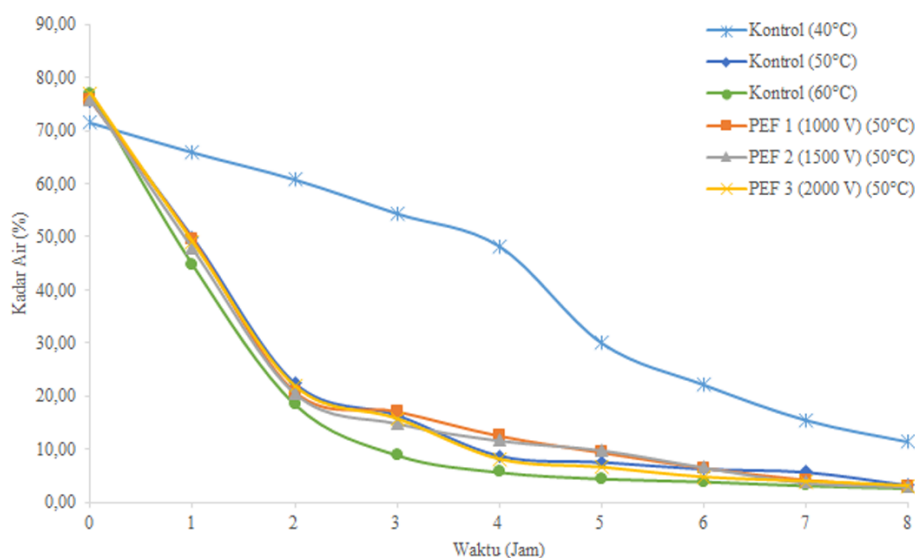
Analisis Statistik

Seluruh perlakuan dan pengukuran kadar air, warna, total fenol dan aktivitas antioksidan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Analisis statistik menggunakan SPSS 16 dengan *single factorial* uji Anova setiap data. Signifikansi level menggunakan 95% dengan Uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dan error ditunjukkan dengan nilai standar deviasi.

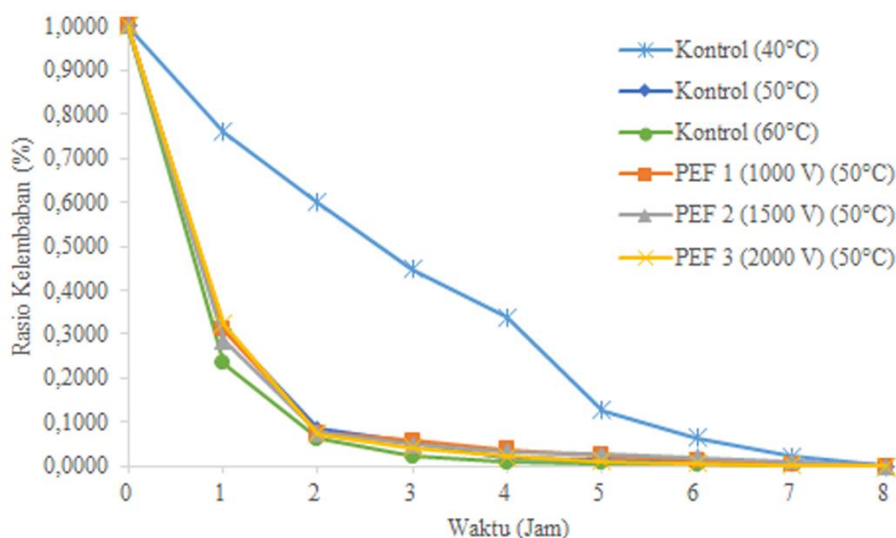
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh *Pulse Electric Field* terhadap Kadar Air

Gambar 2 menunjukkan kadar air pada pengeringan daun kelor dengan suhu 40°C didapatkan kadar air menurun pada jam ke-0 dengan hasil kadar air akhir yaitu 71,47% hingga pada jam ke-8 didapatkan 11,46%. Pada suhu 50°C jam ke-0 kadar air sebesar 75,58% hingga kadar air menurun pada tajam pada jam ke-2 dengan kadar air sebesar 22,44%. Pada hasil kadar air jam ke-8 didapatkan kadar air sebesar 3,25%. Pada suhu 60°C didapatkan kadar air jam ke-0 yaitu 77,02% hingga pada menurun cepat pada jam ke-2 kadar air didapatkan kadar air 18,47%. Pada hasil akhir didapatkan kadar air sebesar 2,71%.



Gambar 2 Kurva kadar air pengeringan daun kelor



Gambar 3 Kurva rasio kelembaban pengeringan daun kelor

Kadar air dengan perlakuan pendahuluan PEF 1000V, 1500V dan 2000V, didapatkan perbedaan yang cukup besar yaitu pada jam ke-0 hingga jam ke-4. Pada PEF 1000V, kadar air pada jam ke-0 sebesar 75,70% dan jam ke-5 sebesar 12,15%. Pada tegangan 1500V kadar air jam ke-0 75,90% dan jam-5 mencapai 11,70%. Sedangkan pada tegangan 2000V, mengalami perubahan kadar air pengeringan yang cukup besar pada jam ke-0 sebesar 76,93% dan jam ke-5 menjadi 8,92%. Menurut (Wiktor *et al.* 2013) perlakuan pendahuluan dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk mengeringkan jaringan bahan dengan udara sebesar 12% dan meningkatkan koefisien kelembaban efektif sebesar 20% dibandingkan dengan jaringan utuh.

Pada Gambar 3 yang menunjukkan hubungan antara rasio kelembaban dan perlakuan PEF dan tanpa perlakuan PEF. Pada kurva tersebut ditemukan percepatan pengeringan yaitu sebesar 8,4-24% pada jam ke-1 sedangkan pada hasil akhir pada perlakuan PEF lebih cepat mengalami penurunan nilai rasio kelembaban. Menurut (Wiktor *et al.* 2013) bahwa penerapan PEF sebelum pengeringan menyebabkan penurunan rasio kelembaban dari 8,3 menjadi 30,8% dibandingkan dengan jaringan apel utuh. Peningkatan jumlah pulsa dan intensitas medan listrik membuat rasio kelembaban menurun.

Model Matematika

Kurva rasio kelembaban (MR) selama waktu pengeringan daun kelor tercantum dalam Gambar 3. Nilai rasio kelembaban diinputkan dan dihitung pada beberapa model pengeringan lapisan tipis. Parameter statistik seperti koefisien korelasi (R^2),

kesalahan kuadrat (X^2), dan kesalahan akar rata-rata-kuadrat (RMSE) dihitung untuk memverifikasi kecocokan masing-masing model dan menghitung konstanta model pengeringan. Pada penelitian ini, nilai R^2 bervariasi pada kisaran 0,727–0,9869, nilai X^2 dan RMSE masing-masing bervariasi dari 0,0029 hingga 12,9989 dan 0,0449 hingga 1,2747. Di antara model pengeringan lapisan tipis, model *Logarithmic* merupakan model yang tepat dalam menyesuaikan data eksperimen selama proses pengeringan. Dari parameter statistik koefisien korelasi (R^2), kesalahan kuadrat (X^2), dan kesalahan akar rata-rata-kuadrat (RMSE), perlakuan PEF 2 (1500 V) menunjukkan nilai R^2 tertinggi, nilai X^2 dan RMSE terendah pada Tabel 3. Pada model *logarithmic* PEF 2 (1500 V) dengan nilai $R^2 = 0,9869$, $X^2 = 0,1102$ dan $RMSE = 0,1174$. Nilai konstanta model *Logarithmic* (a , k , dan c) untuk perlakuan PEF 2 (1500V) dengan nilai $a = 1,3211$; $k = 0,2785$; $c = 0,9207$. Untuk menghitung prediksi rasio kelembaban dilakukan analisis regresi *Logarithmic* dan memvalidasi model yang dipilih dengan membandingkan rasio kelembaban yang diprediksi dengan rasio kelembaban eksperimental. Penelitian lainnya menunjukkan bahwa model *Logarithmic* tepat dalam menggambarkan karakteristik pengeringan lapisan tipis pada berbagai buah dan sayuran, seperti buah mangga (Mishra *et al.* 2021), irisan nanas (Biswas *et al.* 2022), daun labu air (Mondal *et al.* 2021), dan ubi jalar (Doymaz 2011).

Pengaruh *Pulse Electric Field* terhadap Difusivitas Efektif

Difusivitas kelembaban efektif (D_{eff}) digunakan untuk menggambarkan teori gerakan kelembaban dalam bahan makanan selama pengeringan. Nilai D_{eff} daun kelor untuk kontrol 40°C, 50°C dan 60°C bervariasi dari $2,11 \times 10^{-9}$, $2,69 \times 10^{-9}$, $3,53 \times 10^{-9}$ m²/s dan pada perlakuan PEF 1000V, 1500V dan 2000V masing-masing yaitu $2,75 \times 10^{-9}$, $2,94 \times 10^{-9}$, $3,25 \times 10^{-9}$ m²/s. Menurut (Premi, Sharma and Upadhyay, 2012) difusivitas kelembaban efektif pada daun kelor berkisar antara $2,40 \times 10^{-9}$ m²/s hingga $3,89 \times 10^{-9}$ m²/s. Hasil menunjukkan bahwa D_{eff} meningkat dengan peningkatan suhu pengeringan karena difusi kelembaban tergantung pada suhu (Mishra et al. 2021). Perlakuan PEF pada bahan memiliki difusivitas efektif tertinggi dibandingkan dengan bahan lainnya, dikarenakan perlakuan telah mempengaruhi perpindahan massa internal selama proses pengeringan (Doymaz et al. 2015).

Pengaruh *Pulse Electric Field* terhadap Mikrostruktur

Hasil perubahan mikrostruktur pada daun kelor dengan pra-perlakuan PEF disajikan pada Gambar 4. Pada epidermis kontrol Gambar 4(a), menunjukkan keutuhan sel dimana memiliki

bentuk rongga masih padat. Pada Gambar 4(b) menunjukkan rongga mulai terbuka dan bentuk makin memecah. Pada Gambar 4(c) epidermis mulai mengalami bentuk yang lebih memecah. Pada Gambar 4(d) bentuk epidermis sel mulai membentuk rongga-rongga yang lebih kecil. Perubahan pada mikrostruktur pada daun kelor terjadi karena adanya listrik yang mempengaruhi rusaknya dinding sel pada daun. Pemberian perlakuan PEF menyebabkan sel epidermis dielektroporasi secara homogen sehingga terjadi elektroporasi pada sel dinding.

Pengaruh *Pulse Electric Field* terhadap Warna

Pada Tabel 5 disajikan nilai parameter warna daun kelor pada masing-masing perlakuan. Perbandingan perlakuan PEF signifikan terhadap penurunan parameter warna ($p < 0,05$) untuk kecerahan (L^*), kemerahan/kehijauan (a^*), kekuningan/kebiruan (b^*) dan total perubahan warna (ΔE^*). Pada nilai L^* , a^* , b^* , dan ΔE^* mengalami penurunan dengan adanya peningkatan tegangan pada PEF dari 1000V hingga 2000V. Hasil ini sejalan dengan (Mello et al. 2021), yang menyatakan bahwa perubahan tersebut terkait dengan senyawa yang bertanggung jawab atas pewarnaan karakteristik bahan, yang terjadi selama perlakuan pendahuluan PEF yang diterapkan.

Tabel 2 Analisis statistik dari evaluasi model matematika PEF 1000 V pada suhu 50°C

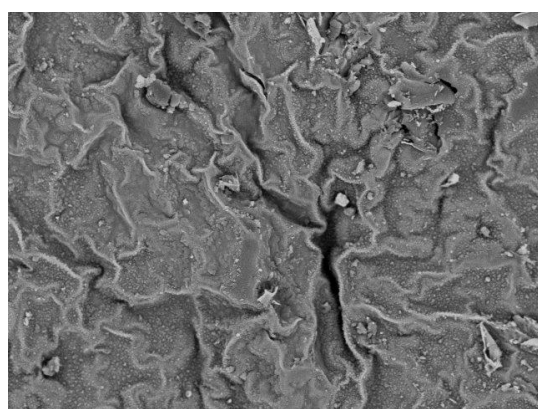
Nama Model	Konstanta Model	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	$k = 0,6784$	0,9517	0,0988	0,0781
Page	$k = 0,7676 ; n = 0,6952$	0,9549	0,1161	0,1078
Modified Page	$k = 0,6836 ; n = 0,6952$	0,9549	0,1758	0,2473
Logarithmic	$a = 1,2717 ; k = 0,2404 ; c = 0,8628$	0,9579	0,0995	0,0792
Two term	$a = 1,9707 ; k_0 = 0,6784 ; b = 1,6938$ $k_1 = 0,527$	0,9517	1,1953	11,4297
Wang and Singh	$a = 0,0391 ; b = 0,3764$	0,8566	0,2754	0,6066
Simple eksponensial	$a = 1, ; k = -0,6784$	0,9176	0,1441	0,1660

Tabel 3 Analisis statistik dari evaluasi model matematika PEF 1500 V pada suhu 50°C

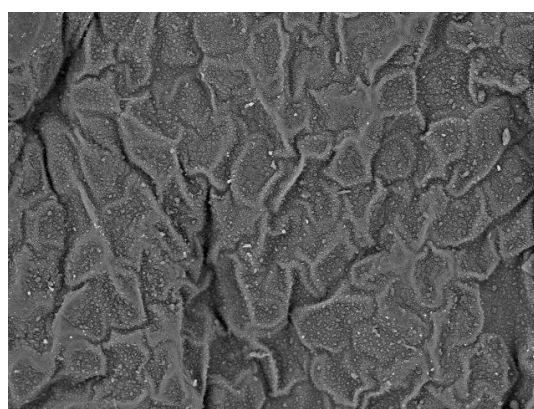
Nama Model	Konstanta Model	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	$k = 0,7307$	0,9109	0,0931	0,0694
Page	$k = 0,6925 ; n = 0,5974$	0,9407	0,1783	0,2543
Modified Page	$k = 0,5405 ; n = 0,5974$	0,9407	0,2809	0,6315
Logarithmic	$a = 1,3211 ; k = 0,2785 ; c = 0,9207$	0,9869	0,1174	0,1102
Two term	$a = 1,7794 ; k_0 = 0,5763 ; b = 2,1634$ $k_1 = 0,7717$	0,8979	1,2662	12,8266
Wang and Singh	$a = 0,0296 ; b = 0,3193$	0,8064	0,2822	0,6373
Simple eksponensial	$a = 1,2158 ; k = -0,5763$	0,9776	0,2071	0,3430

Tabel 4 Analisis statistik dari evaluasi model matematika PEF 2000 V pada suhu 50°C

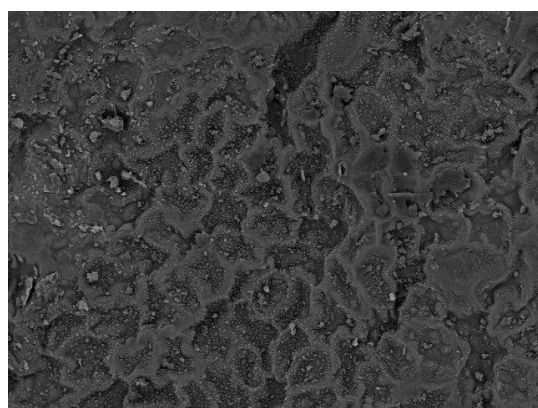
Nama Model	Konstanta Model	R ²	RMSE	x ²
Lewis	$k = 0,9027$	0,9507	0,0437	0,0153
Page	$k = 0,7331 ; n = 0,7568$	0,9859	0,1180	0,1114
Modified Page	$k = 0,6635 ; n = 0,7568$	0,9859	0,1644	0,2162
Logarithmic	$a = 1,4713 ; k = 0,3862 ; c = 1,0264$	0,9766	0,1672	0,2235
Two term	$a = 2,2257 ; k_0 = 0,8001 ; b = 1,6697$ $k_1 = 0,5127$	0,9735	1,2513	12,5254
Wang and Singh	$a = 0,0303 ; b = 0,3259$	0,8180	0,2682	0,5752
Simple exponential	$a = 1,3330 ; k = -0,8001$	0,9666	0,1702	0,2316

Epidermis
Kontrol

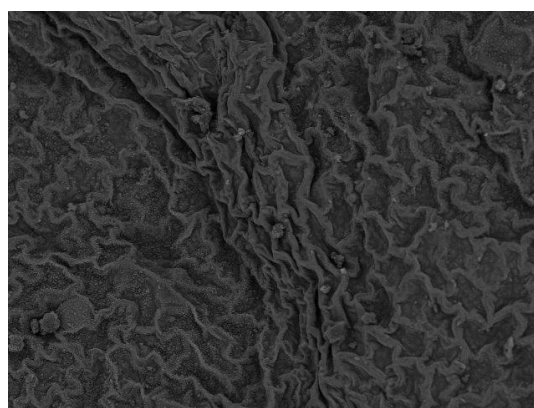
(a)

Epidermis
1000 V

(b)

Epidermis
1500 V

(c)

Epidermis
2000 V

(d)

Gambar 4 Mikrostruktur Daun Kelor (a) Kontrol; (b) PEF 1000V; (c) PEF 1500V; dan (d) PEF 2000V

Pengaruh *Pulse Electric Field* terhadap Total Fenol dan Aktivitas Antioksidan

Prosedur *folin-ciocalteu* digunakan untuk memperkirakan tingkat total fenolik kandungan dalam ekstrak daun kelor. Tingkat total fenol yang ditemukan dalam ekstrak daun kelor ditunjukkan pada Gambar 5(a) untuk Kontrol, PEF 1000V, 1500V dan 2000V masing-masing adalah $43,81 \pm 1,20^a$, $48,05 \pm 1,35^b$, $52,57 \pm 1,34^c$ dan

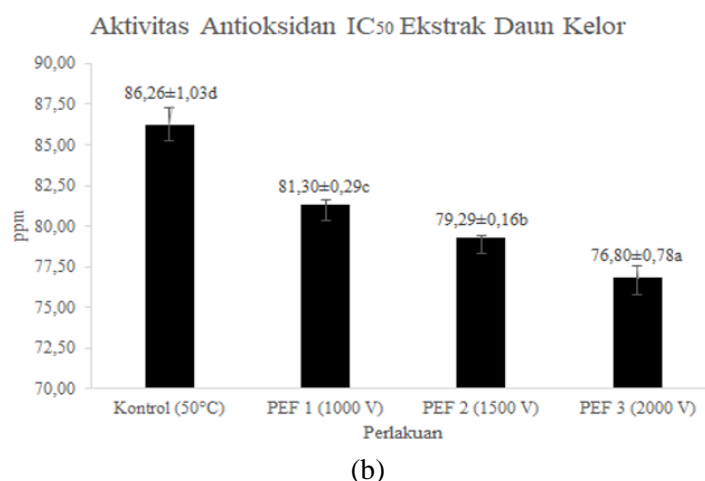
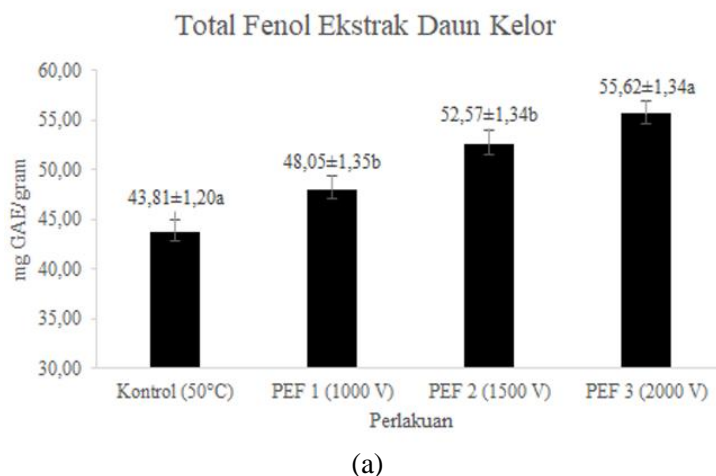
$55,63 \pm 1,34^d$ mg GAE/gram. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sampel ekstrak yang berbeda memiliki tingkat kapasitas yang berbeda-beda. Peningkatan total fenol sebesar 21,20% antara PEF 3 (2000V) dengan perlakuan kontrol. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa dengan perlakuan PEF jaringan buah apel mengalami peningkatan total fenolik hingga sebesar 47,3% (Lammerskitten et al. 2019).

Pada ekstrak daun kelor dengan perlakuan PEF, aktivitas DPPH radikal bereaksi dengan zat pereduksi seperti antioksidan, larutan kehilangan warnanya tergantung pada jumlah elektron yang diambil. Antioksidan tertinggi diamati IC₅₀ pada ekstrak daun kelor ditunjukkan pada Gambar 5(b) dengan urutan Kontrol, PEF 1000V, 1500V dan 2000V sebesar 86,26±1,03^d, 81,30±0,29^c, 79,29±0,16^b dan 76,80±0,78^a ppm. Penurunan nilai aktivitas antioksidan antara kontrol dan PEF tertinggi yaitu pada tegangan PEF 2000V sebesar 12,31%. Sementara itu, pada kontrol dan PEF

terendah yaitu pada tegangan PEF 1000V sebesar 6,10%. Radikal DPPH bereaksi dengan antioksidan pada ekstrak atau spesies radikal lainnya sebagai donor ikatan hidrogen dan berkurang. Perubahan warna dari ungu gelap menjadi kuning muda, terlihat bahwa laju penyerapan pada spektrum cahaya yang diukur berkurang di rentang 515-517 nm. Hal ini sejalan dengan penelitian (Pashazadeh *et al.* 2020) pada terjadi penurunan nilai aktivitas antioksidan dengan peningkatan lebar pulsa dan intensitas tegangan.

Tabel 5 Nilai pada Parameter Warna Daun Kelor

Perlakuan	L*	a*	b*	ΔE*
Kontrol (50°C)	42,56 ± 0,33 ^b	-10,3 ± 0,12 ^a	24,33 ± 0,32 ^c	3,86 ± 0,63 ^a
1000 V (50°C)	42,91 ± 0,44 ^b	-9,28 ± 0,03 ^b	23,84 ± 0,86 ^c	5,45 ± 0,54 ^b
1500 V (50°C)	41,58 ± 0,51 ^a	-8,27 ± 0,43 ^c	21,79 ± 0,50 ^b	6,28 ± 0,31 ^b
2000 V (50°C)	41,74 ± 0,34 ^a	-8,64 ± 0,28 ^c	20,16 ± 0,94 ^a	7,08 ± 0,53 ^c

Gambar 5 (a) Total Fenol dan (b) IC₅₀ (DPPH) Ekstrak Daun Kelor

KESIMPULAN

Pada hasil yang didapatkan pada kinetika pengeringan dengan tanpa perlakuan PEF, perlakuan PEF 1000V, 1500V dan 2000V. Model *Logarithmic* merupakan model yang tepat pada pengeringan daun kelor dengan perlakuan PEF. Pada tegangan 2000 V nilai difusivitas efektif tertinggi sebesar $3,25 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Pada mikrostruktur daun kelor mengalami perubahan pada epidermis dinding sel karena adanya peningkatan intensitas tegangan PEF. Pada uji warna perlakuan PEF memiliki pengaruh yang signifikan terhadap parameter warna L^* , a^* , b^* , dan ΔE^* daun kelor dengan nilai $41,74 \pm 0,34^a$, $-8,64 \pm 0,28^c$, $20,16 \pm 0,94^a$, $7,08 \pm 0,53^c$. Pada total fenol dan aktivitas antioksidan kandungan ekstrak daun kelor dengan perlakuan 2000V 55.60 ± 1.24^d mg GAE/gram dan 76.79 ± 0.77^a ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Alara, O. R., N. H. Abdurahman, S. K. Abdul Mudalip, and O. A. Olalere. 2018. Mathematical modeling of thin layer drying using open sun and shade of *Vernonia amygdalina* leaves. *Agriculture and Natural Resources* 52(1):53–58.
- Babu, A. K., G. Kumaresan, V. A. A. Raj, and R. Velraj. 2018. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90(December 2016):536–556.
- Biswas, R., M. A. Hossain, and W. Zzaman. 2022. Thin layer modeling of drying kinetics, rehydration kinetics and color changes of osmotic pre-treated pineapple (*Ananas comosus*) slices during drying: Development of a mechanistic model for mass transfer. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 80(January):103094.
- Braham, F., D. O. Carvalho, C. M. R. Almeida, F. Zaidi, J. M. C. S. Magalhães, L. F. Guido, and M. P. Gonçalves. 2020. Online HPLC-DPPH screening method for evaluation of radical scavenging phenols extracted from *Moringa oleifera* leaves. *South African Journal of Botany* 129:146–154.
- Doymaz, I. 2011. Thin-layer drying characteristics of sweet potato slices and mathematical modelling. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung* 47(3):277–285.
- Doymaz, İ., H. Demir, and A. Yildirim. 2015. Drying of Quince Slices: Effect of Pretreatments on Drying and Rehydration Characteristics. *Chemical Engineering Communications* 202(10):1271–1279.
- González-Casado, S., O. Martín-Belloso, P. Elez-Martínez, and R. Soliva-Fortuny. 2018. Enhancing the carotenoid content of tomato fruit with pulsed electric field treatments: Effects on respiratory activity and quality attributes. *Postharvest Biology and Technology* 137(July 2017):113–118.
- Kerdsomboon, K., W. Chumsawat, and C. Auesukaree. 2020. Effects of *Moringa oleifera* leaf extracts and its bioactive compound gallic acid on reducing toxicities of heavy metals and metalloids in *Saccharomyces cerevisiae*. *Chemosphere*(xxxx):128659.
- Lammerskitten, A., V. Mykhailyk, A. Wiktor, S. Toepfl, M. Nowacka, M. Bialik, J. Czyżewski, D. Witrowa-Rajchert, and O. Parniakov. 2019. Impact of pulsed electric fields on physical properties of freeze-dried apple tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 57:102211.
- Li, X., J. Li, R. Wang, A. Rahaman, X. Zeng, and C. S. Brennan. 2021. Combined effects of pulsed electric field and ultrasound pretreatments on mass transfer and quality of mushrooms. *LWT* 150(May):112008.
- Liu, C., N. Grimi, N. Lebovka, and E. Vorobiev. 2020. Impacts of preliminary vacuum drying and pulsed electric field treatment on characteristics of fried potatoes. *Journal of Food Engineering* 276(November 2019):109898.
- Liu, Z., E. Esveld, J. P. Vincken, and M. E. Bruins. 2019. Pulsed Electric Field as an Alternative Pre-treatment for Drying to Enhance Polyphenol Extraction from Fresh Tea Leaves. *Food and Bioprocess Technology* 12(1):183–192.
- Makita, C., L. Chimuka, P. Steenkamp, E. Cukrowska, and E. Madala. 2016.

- Comparative analyses of flavonoid content in *Moringa oleifera* and *Moringa ovalifolia* with the aid of UHPLC-qTOF-MS fingerprinting. *South African Journal of Botany* 105:116–122.
- Mbegbu, N. N., C. O. Nwajinka, and D. O. Amaefule. 2021. Thin layer drying models and characteristics of scent leaves (*Ocimum gratissimum*) and lemon basil leaves (*Ocimum africanum*). *Heliyon* 7(1):e05945.
- Mello, R. E., A. Fontana, A. Mulet, J. Luiz, G. Corr, and A. C. Juan. 2021. PEF as pretreatment to ultrasound-assisted convective drying: Influence on quality parameters of orange peel 72(November 2020).
- Merugu, R., S. Garimella, R. Velamakanni, P. Vuppugalla, K. L. Chitturi, and M. Jyothi. 2020. Synthesis, characterization and antimicrobial activity of bimetallic silver and copper nanoparticles using fruit pulp aqueous extracts of *Moringa oleifera*. *Materials Today: Proceedings*(xxxx).
- Mishra, M., P. Kandasamy, R. N. Shukla, and A. Kumar. 2021. Convective Hot-air Drying of Green Mango: Influence of Hot Water Blanching and Chemical Pretreatments on Drying Kinetics and Physicochemical Properties of Dried Product. *International Journal of Fruit Science* 21(1):732–757.
- Mondal, I. H., L. Rangan, and R. V. S. Uppaluri. 2021. Symphony of kinetics and statistical design approaches for response analysis during tray drying of *Lagenaria siceraria* leaves. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 145(5):2389–2403.
- Pagano, C., L. Perioli, C. Baiocchi, A. Bartoccini, T. Beccari, F. Blasi, P. Calarco, M. R. Ceccarini, L. Cossignani, A. di Michele, R. Ortenzi, S. Scuota, and M. Ricci. 2020. Preparation and characterization of polymeric microparticles loaded with *Moringa oleifera* leaf extract for exuding wound treatment. *International Journal of Pharmaceutics* 587(July):119700.
- Pashazadeh, B., A. H. Elhamirad, H. Hajnajari, P. Sharayei, and M. Armin. 2020. Optimization of the pulsed electric field -assisted extraction of functional compounds from cinnamon. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 23(September 2019):101461.
- Premi, M., H. Sharma, and A. Upadhyay. 2012. Effect of Air Velocity and Temperature on the Drying Kinetics of Drumstick Leaves (*Moringa Oleifera*) Effect of Air Velocity and Temperature on the Drying Kinetics of Drumstick Leaves (*Moringa Oleifera*) 8(4).
- Silve, A., I. Leray, C. Poignard, and L. M. Mir. 2016. Impact of external medium conductivity on cell membrane electroporation by microsecond and nanosecond electric pulses. *Scientific Reports* 6(February):1–15.
- Sukardi, S. Soeparman, B. D. Argo, and Y. S. Irawan. 2017. Optimization of patchouli oil (*Pogostemon cablin*, benth) with steam distillation assisted by pulsed electric field via response surface methodology. *Journal of Engineering Science and Technology* 12(8):2106–2119.
- Wang, Y., Y. Gao, H. Ding, S. Liu, X. Han, J. Gui, and D. Liu. 2017. Subcritical ethanol extraction of flavonoids from *Moringa oleifera* leaf and evaluation of antioxidant activity. *Food Chemistry* 218:152–158.
- Wiktor, A., M. Iwaniuk, Ś. Magdalena, D. Witrowa-rajchert, A. Wiktor, M. Iwaniuk, and S. Magdalena. 2013. Drying Kinetics of Apple Tissue Treated by Pulsed Electric Field Drying Kinetics of Apple Tissue Treated by Pulsed Electric Field. *Drying Technology: An International Journal* 31(1)(October 2014):112–119.
- Zderic, A., and E. Zondervan. 2017. Product-driven process synthesis: Extraction of polyphenols from tea. *Journal of Food Engineering* 196:113–122.