

# Ekstraksi Kapulaga (*Amomum Cardamomum*) Menggunakan Metode Microwave Assisted Hydrodistillation (MAHD) : Analisis Optimasi dan Kinetika

Yeni Variyana<sup>1,\*</sup>, Windia Hanifah<sup>1</sup>, Yeni Ria Wulandari<sup>1</sup>, Iyappateya Gelegar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno Hatta No.10, Bandar Lampung, Indonesia

## Article Info

### Article history:

Received October 6, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 6, 2023

### Keywords:

Amomum Cardamomum

Microwave

MAHD

Yield

RSM

Kinetics

## ABSTRACT

The use of microwave-assisted hydrodistillation (MAHD) needs to be applied to create a green technique for extracting cardamom seeds (*Amomum cardamomum*) from Lampung. Operating conditions with microwave power 300, 450, and 600 W; F/S ratio 0.1; 0.15; 0.2g/ml; extraction time 30, 60, and 90 minutes; size of crushed raw materials (powder  $\pm$  5 mesh). Next, optimize the optimum point of extraction yield using Response Surface Methodology (RSM). From the research results, it was reported that cardamom oil extraction using the MAHD method with the highest yield at microwave power variables of 600 W, F/S 0.15 g/ml, and extraction time of 90 minutes was 3.2423%. Determination of optimum conditions through RSM design for cardamom oil extraction, namely 503,650 W, 0.119 g/ml, and 81 minutes for 3.332%. The model response from RSM reports that the error rates between experimental data and predicted values are  $<0.05\%$ . In addition, the extraction kinetics analysis of the first order kinetic model is able to effectively describe the experimental results in the cardamom oil extraction process using the MAHD method.



## Corresponding Author:

Yeni Variyana,

Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri,

Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno Hatta No.10, Bandar Lampung, 35141, Indonesia,

Email: \*yeniariyana@polinela.ac.id

## 1. PENGANTAR

Lampung merupakan Provinsi dengan sektor pertanian yang mendukung perekonomian bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Diantaranya perkebunan, tanaman pangan, hortikultura, kehutanan, dan jenis lainnya dengan total ekspor pertanian Provinsi Lampung mencapai 660,5 miliar rupiah dengan tujuan ke 47 negara. Maka dari itu, adanya potensi pertanian harus dimanfaatkan dengan maksimal. Salah satu komoditas ekspor yang banyak diminati adalah kapulaga dari Indonesia. Data menunjukkan bahwa nilai ekspor kapulaga semakin meningkat hingga mencapai 6.428 ton atau hampir 8 juta dollar AS. Pemanfaatan tanaman kapulaga diantaranya sebagai obat-obatan, rempah-rempah, sampai kosmetik sehingga rempah tersebut memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Dalam bentuk minyak ini pula, kapulaga dipakai sebagai campuran *soft drink* dan es krim di pabrik Amerika [1]. Selain itu, adanya ketersediaan bahan baku belum dapat dimaksimalkan dengan baik padahal komponen aktif yang terdapat dalam tanaman kapulaga sangat potensial. Selaras dengan hal itu, inovasi perlu dilakukan untuk mengolah komoditas tanaman kapulaga menjadi produk dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi.

Kapulaga (*Amomum cardamomum*) terbukti bermanfaat bagi kesehatan karena mengandung senyawa bioaktif diantaranya dapat menghambat penyakit kanker [2], [3], mempunyai senyawa antioksidan [4]–[6], antimikrobal dengan memiliki daya bunuh terhadap bakteri [7], sebagai bahan antibiotik, menjaga kesehatan ginjal [8], [9], merangsang pertumbuhan sel tubuh [10], mencegah gejala gastrointestinal seperti mulas, diare, dan nyeri perut [4], [11], menurunkan tekanan darah dan mengurangi risiko penyakit jantung [6], [12], dan sebagai salah satu sumber vitamin C. Selain itu, kapulaga memiliki nilai gizi yang cukup tinggi dan mengandung sejumlah komponen kimia yang bermanfaat untuk hidup manusia. Minyak esensial yang diperoleh dari biji kapulaga mengandung berbagai komponen aktif termasuk sineol. Senyawa 1,8 sineol memiliki beberapa manfaat potensial untuk kesehatan, seperti mengurangi sakit kepala, memiliki aktivitas antibakteri, dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh [13], [14]. Studi lain telah menunjukkan bahwa kapulaga memiliki berbagai sifat farmakologi seperti antioksidan, anti-inflamasi, anti-kanker, dan aktivitas antimikroba [15]. Namun, perlu kajian penelitian lebih lanjut mengenai manfaat komponen aktif yang terkandung dalam ekstrak kapulaga untuk memastikan efektivitas dan keamanan dalam jangka panjang.

Teknologi dengan gelombang mikro menunjukkan bahwa pemanasan dengan *microwave* merupakan solusi dan metode alternatif yang dapat diterapkan karena mutu kemurnian produk yang baik, waktu proses yang singkat, konsumsi energi yang rendah, ramah lingkungan, produk tidak terkontaminasi dengan senyawa lain, dan minimnya pemakaian pelarut [16]–[19]. Salah satu *novel method* yaitu *microwave assisted hydrodistillation* (MAHD) yang merupakan teknik kombinasi antara distilasi air (*hydrodistillation*) dengan pemanasan menggunakan *microwave* [20]. Selanjutnya, metode *microwave steam distillation* yang merupakan kombinasi antara distilasi uap (*steam distillation*) dengan pemanasan menggunakan *microwave* [21]. Penggunaan *steam* dan *microwave* membutuhkan operasional yang lebih besar. Oleh karena itu, inovasi penelitian yang dilakukan terkait optimasi ekstraksi minyak kapulaga dari daerah Lampung melalui pengembangan dari metode *microwave* dengan penggunaan air sebagai pelarut. Selain itu, teknologi ekstraksi menggunakan gelombang mikro baru diterapkan pada kapulaga yang diambil dari daerah Lampung. Adapun mekanisme pada metode MAHD secara umum terdiri dari 2 komponen utama kondensator (sistem pendingin) dan *microwave* (media pemanas) [19], [22], [23]. Menurut penelitian yang telah dilaporkan oleh Golmakani et. al (2015) menyatakan bahwa ekstraksi minyak atsiri dengan menggunakan MAHD jauh lebih efektif dan efisien jika dibandingkan dengan metode konvensional HD. Adanya metode menggunakan gelombang mikro berupa MAHD dapat menjadi solusi dari teknik ekstraksi yang ramah lingkungan dan menghasilkan produk bermutu tinggi serta aman jika dikonsumsi. Selain itu, penelitian ini juga akan dilakukan analisis dan evaluasi terkait pengaruh parameter terhadap penggunaan gelombang mikro seperti variasi daya *microwave*, rasio bahan terhadap pelarut, kondisi bahan baku, serta waktu ekstraksi. Optimasi proses ekstraksi menggunakan *response surface methodology* (RSM) dengan *box-behnken design* (BBD) untuk mendapatkan *output* produk yang optimal dan efisien. Penerapan optimasi dapat digunakan sebagai rujukan dalam skala penelitian lebih besar, kemudian evaluasi RSM dapat mengoptimalkan proses, memilih parameter yang signifikan, dan kondisi operasi yang lebih spesifik. Selanjutnya, hasil ekstrak dapat dijadikan campuran obat herbal dengan kualitas *food grade* dan mutu tinggi karena penggunaan air sebagai pelarut.

## 2. METODE PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan produk berupa minyak kapulaga melalui proses ekstraksi dengan bantuan gelombang mikro, yang disebut sebagai *microwave assisted hydrodistillation* (MAHD). Bahan baku yang digunakan adalah biji kapulaga dari daerah Padang Cermin, Lampung. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *microwave* Electrolux model EMM2308X dan kondensator *cleverger*. Pengambilan data penelitian berdasarkan daya *microwave* 300, 450, dan 600 W; rasio bahan baku terhadap pelarut (F/S) 0,1, 0,15, 0,2 g/ml; waktu ekstraksi 30, 60, dan 90 menit; dan ukuran bahan baku dihaluskan (serbuk  $\pm 5$  mesh). Selanjutnya, hasil ekstraksi berupa campuran minyak *Amomum cardamomum* dan air dipisahkan dengan menggunakan *water bath* dan diikat menggunakan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat. Kemudian hasil ekstraksi merupakan produk akhir akan dihitung rendemennya pada setiap kombinasi variabel yang ditentukan oleh *design expert*. Selanjutnya, *yield* ekstraksi dilakukan evaluasi dan analisis melalui optimasi dan pemodelan kinetika ekstraksi. Masing-masing produk dari metode MAHD dihitung rendemen (% basis kering) melalui persamaan:

$$\text{yield (\%)} = \frac{\text{massa minyak kapulaga}}{\text{massa bahan kering}} \times 100\% \quad (1)$$

### 2.1 Response Surface Methodology (RSM)

Desain *box-behnken design* (BBD) diterapkan pada ekstraksi dengan 3 parameter [18], [19], [24]–[27]. Parameter kondisi yang digunakan A, B dan C secara berturut-turut merupakan daya *microwave* (W), rasio F/S (g/ml), dan waktu ekstraksi (menit). Seluruh parameter di desain RSM dengan pemilihan variabel berdasarkan **Tabel 1**. Setiap parameter ditetapkan dengan kode desain paling rendah hingga paling tinggi pada desain model *box-behnken design* (BBD).

**Tabel 1.** Faktor independen pada *box-behnken design* (BBD)

Name	Units	Low	High
Microwave power (A)	W	300	600
F/S ratio (B)	g/ml	0,1	0,2
Extraction time (C)	min	30	90

Hasil RSM ditunjukkan **Tabel 1** sebanyak 17 percobaan dengan pengulangan 3 titik dan Y sebagai *yield* ekstraksi (g/g basis kering). Koefisien regresi dalam intersep ( $\beta_0$ ), koefisien regresi dalam garis lurus ( $\beta_i$ ), koefisien regresi dalam kuadrat ( $\beta_{ii}$ ), koefisien regresi dalam interaksi ( $\beta_{ij}$ ),  $X_i$  dan  $X_j$  adalah parameter independen, dan Y adalah respon model yang diprediksi. Optimasi RSM menggunakan *software* Design-Expert 13 (State-Ease Inc., Minneapolis, USA) dirancang untuk proses ekstraksi menggunakan model kuadrat. Persamaan analisis regresi data eksperimen menggunakan model orde dua sebagai berikut.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \tag{2}$$

**Tabel 2.** Hasil respon BBD terhadap *actual* data dan model *predicted*

Std	Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Response 1	Response 2	Residual %
		A: Microwave power (W)	B:F/S ratio (g/ml)	C:Extraction time (min)	Actual yield (%)	Predicted value (%)	
13	1	450	0,15	60	2,7321	2,68	0,0534
6	2	600	0,15	30	1,9087	1,81	0,0977
2	3	600	0,1	60	3,033	3,06	-0,0299
12	4	450	0,2	90	1,2098	1,14	0,0678
15	5	450	0,15	60	2,5035	2,68	-0,1752
4	6	600	0,2	60	1,4926	1,52	-0,0283
3	7	300	0,2	60	0,899	0,8691	0,0299
11	8	450	0,1	90	3,1004	3,03	0,0695
9	9	450	0,1	30	1,3209	1,39	-0,0678
17	10	450	0,15	60	2,8111	2,68	0,1324
16	11	450	0,15	60	2,6468	2,68	-0,0319
10	12	450	0,2	30	0,8045	0,8739	-0,0694
14	13	450	0,15	60	2,7002	2,68	0,0215
8	14	600	0,15	90	3,2423	3,28	-0,0395
5	15	300	0,15	30	1,3742	1,33	0,0395
1	16	300	0,1	60	1,759	1,73	0,0283
7	17	300	0,15	90	1,6764	1,77	-0,0977

**2.2 Kinetika ekstraksi**

Model kinetika ekstraksi orde satu didapatkan dari adanya laju perpindahan massa secara difusi yang disebabkan adanya gradien konsentrasi. Penerapan persamaan model orde satu (Pers. 3) telah banyak dilakukan pada proses ekstraksi [28], [29]. Adapun persamaan umum kinetika ekstraksi ditunjukkan oleh Persamaan (3). Kemudian, Pers.3 (ODE) diberikan batas  $Y_t = 0$  pada  $t = 0$  dan  $Y_t = Y_t$  ada  $t = t$  sehingga di dapatkan Persamaan (4). Adapun penjelasan  $Y_t$  (%) merupakan *yield* ekstraksi pada waktu tertentu sedangkan  $Y_s$  (%) merupakan *yield* ekstraksi maksimum, kemudian  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) merupakan konstanta kinetika ekstraksi orde satu dan  $t$  (menit) adalah waktu ekstraksi. Untuk mendapatkan variabel  $k_1$  maka perhitungan dilakukan menggunakan *solver* dengan meminimize jumlah selisih kuadrat antara data eksperimen dikurangi data perhitungan model.

$$\frac{dY_t}{dt} = k_1(Y_s - Y_t) \tag{3}$$

$$Y_t = Y_s (1 - e^{-k_1 t}) \tag{4}$$

Selanjutnya, pemodelan kinetika ekstraksi orde dua berdasarkan adanya pengaruh laju perpindahan massa dan pengaruh lainnya yang disebabkan oleh pemanasan gelombang mikro. Adapun persamaan kinetika orde dua

ditunjukkan oleh Persamaan (5) dan diintegrasikan dengan batas  $Y_t = 0$  pada  $t = 0$  sampai  $Y_t = Y_t$  pada  $t = t$  menjadi Persamaan (6). Berdasarkan Pers. (6), digunakan *solver* pada Microsoft Excel untuk memperoleh nilai  $k_2$  (ml/g.min) sebagai konstanta kinetika ekstraksi orde dua.

$$\frac{dY_t}{dt} = k_2(Y_s - Y_t)^2 \tag{5}$$

$$Y_t = \frac{Y_s^2 k_2 t}{1 + Y_s k_2 t} \tag{6}$$

$$R^2 = 1 - \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n (Y_{model} - Y_{eksperimen})}{(n-1-m) \sum_{i=1}^n (Y_{eksperimen} - Y_{eksperimen})^2} \tag{7}$$

### 3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil analisis ANOVA dalam **Tabel 3** mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari parameter-parameter terhadap hasil ekstraksi kapulaga. Pentingnya model ini ditunjukkan oleh nilai *p-value* dan *F-value* dari ANOVA, yakni 0,001% dan 84,51. Menurut [30], untuk mengukur kualitas pemodelan, sebuah nilai *F-test* yang tinggi dengan *p-value* yang rendah dianggap cukup. Selain itu, evaluasi juga dilakukan terhadap parameter-parameter independen yang signifikan. Parameter yang dimaksud meliputi daya *microwave* (A), rasio F/S (B), dan waktu ekstraksi (C), yang seluruhnya menunjukkan signifikansi dengan nilai  $p < 0,05$ . Lebih lanjut, interaksi antara semua parameter juga memiliki dampak yang signifikan. Ini mencakup interaksi antara daya *microwave* dan rasio F/S (AB), daya *microwave* dan waktu ekstraksi (AC), serta rasio F/S dan waktu ekstraksi (BC), semua interaksi memiliki respon yang signifikan dengan nilai  $p < 0,05$ . Hasil ini menandakan bahwa hasil ekstraksi dipengaruhi oleh ketiga interaksi parameter tersebut. Selanjutnya, analisis mengenai ketidaksesuaian model (*lack of fit*) menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Ini mengartikan bahwa hipotesis tentang ketiadaan interaksi parameter tidak dapat ditolak, karena nilai *p-value* dari *lack of fit* adalah 0,4377 ( $p > 0,05$ ). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa desain model memiliki kemampuan untuk mengoptimasi dengan baik.

**Tabel 3.** Analisis varian (ANOVA) terhadap hasil respon

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	10,54	9	1,17	84,51	< 0,0001	*
A-Microwave power	1,97	1	1,97	142,01	< 0,0001	
B-F/S ratio	2,89	1	2,89	208,45	< 0,0001	
C-Extraction time	1,82	1	1,82	131,66	< 0,0001	
AB	0,1157	1	0,1157	8,35	0,0233	
AC	0,2659	1	0,2659	19,19	0,0032	
BC	0,4721	1	0,4721	34,07	0,0006	
A <sup>2</sup>	0,2050	1	0,2050	14,79	0,0063	
B <sup>2</sup>	1,85	1	1,85	133,21	< 0,0001	
C <sup>2</sup>	0,6998	1	0,6998	50,49	0,0002	
<b>Residual</b>	0,0970	7	0,0139			
Lack of Fit	0,0445	3	0,0148	1,13	0,4377	**
Pure Error	0,0526	4	0,0131			
<b>Cor Total</b>	10,64	16				

\*signifikan

\*\*insignifikan

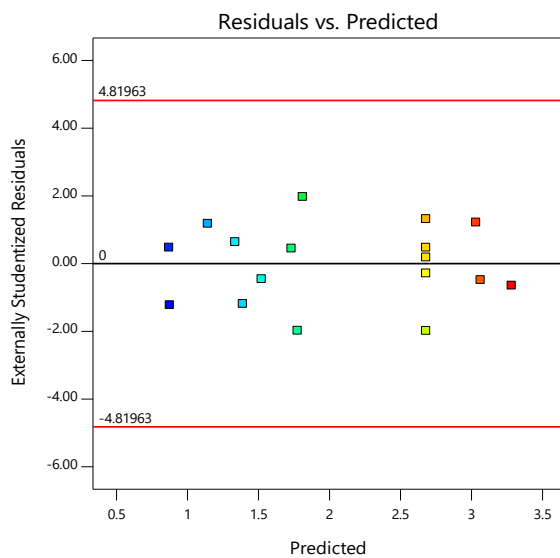
Pemodelan RSM juga memberikan uji kesesuaian (*fit statistics*) untuk mengetahui mengukur ketepatan fungsi regresi sampel dalam menaksir nilai aktual secara statistik. Berdasarkan **Tabel 4** koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9909, dimana mendekati nilai maksimum 1,00 [31]. Koefisien variasi (C.V.) untuk mengukur variasi suatu data melalui pemodelan, dimana variabel dengan CV yang lebih besar menandakan datanya lebih bervariasi, lebih menyebar, atau lebih beragam dibandingkan variabel dengan CV yang lebih kecil. Oleh karena itu, nilai CV sebesar 5,68% menyatakan keakuratan model terhadap data eksperimen [32]. Kemudian, koefisien determinasi ( $R^2$ ) dengan nilai *adjusted* ( $Adj-R^2$ ) dapat digunakan untuk mengevaluasi kecocokan model dengan data eksperimen. Pada hasil pemodelan berdasarkan penelitian ini, batas limit  $R^2$  mendekati 1 dengan *adjusted*  $R^2$  0,9792, kemudian *predicted*  $R^2$  0,9254 tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan menunjukkan tidak adanya noise sehingga menyebabkan estimasi yang akurat. Kriteria  $R^2$  secara matematis disesuaikan dengan

masing-masing nilai *adjusted R<sup>2</sup>* dan *predicted R<sup>2</sup>* yang saling berdekatan, namun evaluasi pemodelan dikatakan memadai dengan memperhatikan  $p < 0,05$ ; *lack of fit* ( $p > 0,05$ ); dan  $R^2 > 0,9$  [18], [27], [33]. Hasil *adeq precision*  $> 4$  menunjukkan sinyal dan model yang memadai sehingga dapat digunakan untuk menavigasi desain dan standar deviasi model adalah 0,1177. Nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan korelasi yang baik, dimana hasil pemodelan hampir sama dengan data eksperimen [34]. Adapun nilai *adeq precision* yang memadai (26,7224), yang berarti model dapat digunakan untuk optimasi.

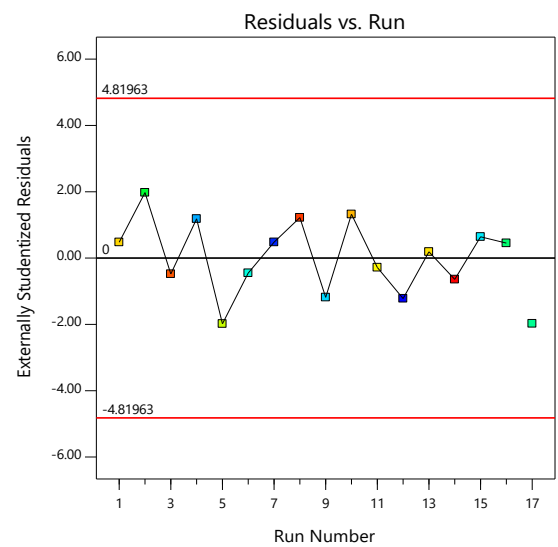
**Tabel 4.** *Fit statistics* dari ANOVA

<i>Fit statistics</i>	Hasil
Standar deviasi	0,1177
Mean	2,07
Coefficient of variance (CV) %	5,68
R <sup>2</sup>	0,9909
Adjusted R <sup>2</sup>	0,9792
Predicted R <sup>2</sup>	0,9254
Adeq Precision	26,7224

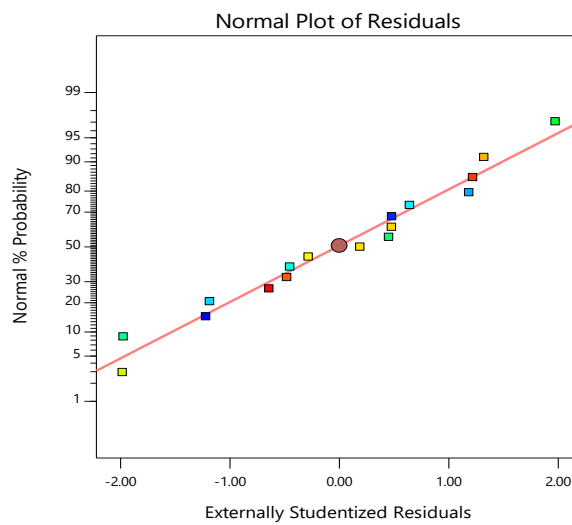
### 3.1 Pengaruh independen parameter



(a)



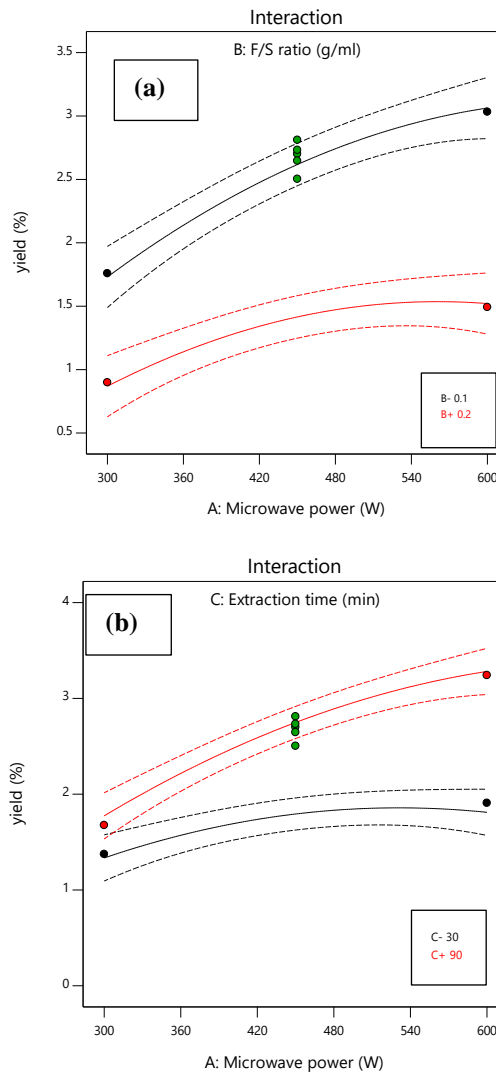
(b)

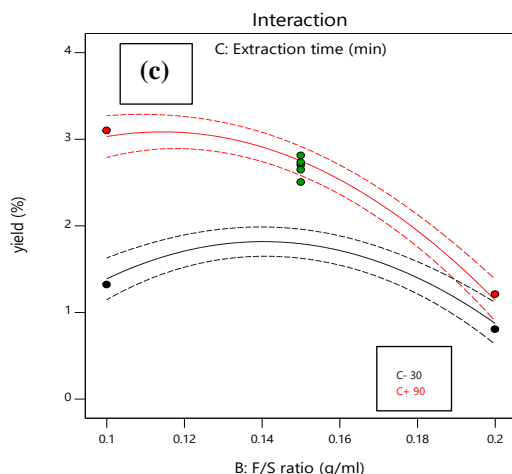


(c)

**Gambar 1.** Analisis model RSM: a) Residual vs *run number*; b) Residual vs prediksi; c) Uji distribusi normal

Berdasarkan **Gambar 1 (a) dan (b)** terlihat bahwa sebaran data berada di dalam batas residual maksimum. Residual dan uji distribusi normal memberikan informasi terkait ada atau tidaknya suatu penyimpangan model. Selain itu, data residual dapat melihat penyebaran dan distribusi data. Adanya plot residual dengan *run number* memberikan informasi adanya pengaruh titik-titik pada plot tersebar secara acak. Hal ini menyatakan adanya rangkaian urutan penelitian tidak berpengaruh. Selanjutnya, plot residual dengan prediksi juga melaporkan adanya pola penyebaran secara acak yang berada pada rentang residu atas dan bawah sehingga model yang dipilih sudah tepat. Pada **Gambar 1 (c)** hasil uji distribusi normal menunjukkan residual yang dihasilkan mendekati garis lurus yang sudah ditentukan oleh pemodelan. Dari hasil analisis model maka desain yang dipilih tersebut layak untuk digunakan dan dapat diterapkan untuk mengidentifikasi parameter ekstraksi yang optimal.

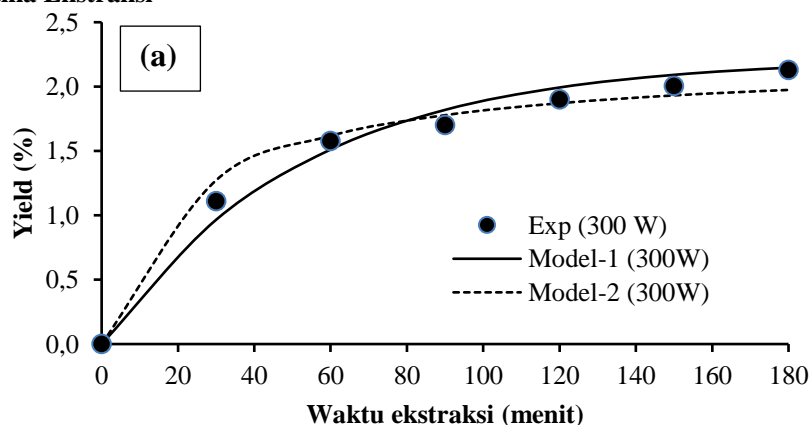


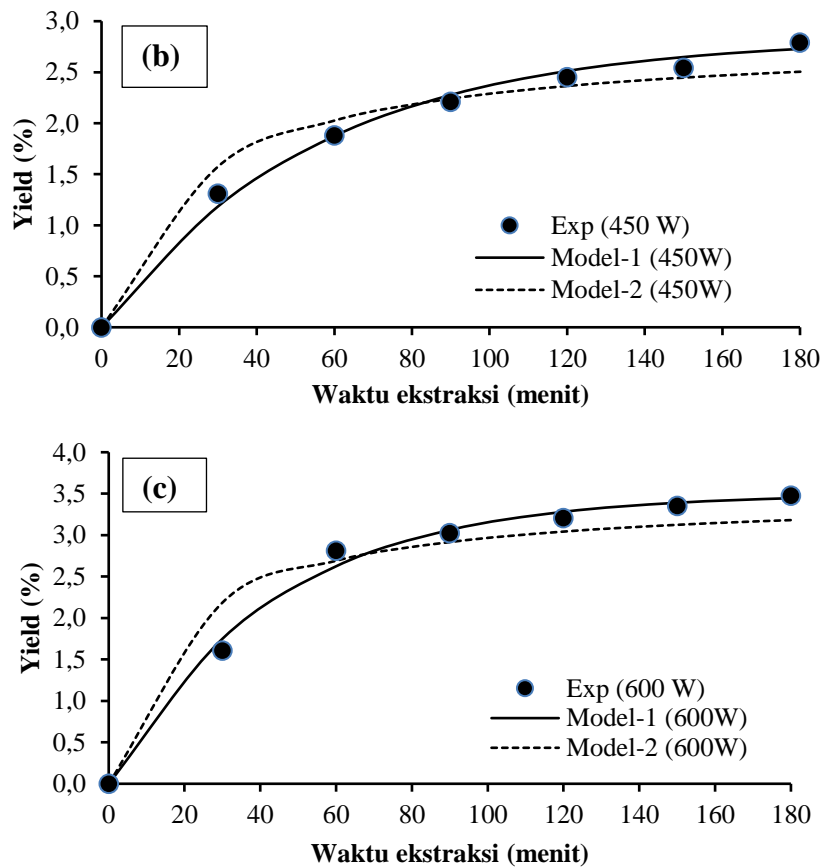


**Gambar 2.** Pengaruh interaksi (a) daya *microwave* dengan rasio F/S (b) daya *microwave* dengan waktu ekstraksi (c) rasio F/S dengan waktu ekstraksi terhadap *yield* ekstraksi kapulaga

Berdasarkan **Gambar 2a**, hasil paling optimal dari ekstraksi minyak kapulaga menggunakan metode *microwave hydrodistillation* ditemukan pada perbandingan rasio 0,1 g/ml dengan daya *microwave* sebesar 600 W. Grafik tersebut memaparkan bagaimana variabel rasio F/S (bahan baku dan pelarut) dengan nilai 0,1; 0,15; dan 0,2 g/ml berinteraksi dengan berbagai daya *microwave* yaitu 300; 450; dan 600 W. Hasil ekstraksi minyak kapulaga menunjukkan kecenderungan yang berlawanan terhadap perubahan rasio bahan baku dan pelarut. Rasio yang lebih rendah atau lebih tinggi dari 0,15 g/ml cenderung mengurangi *yield* ekstraksi, berbeda dengan hubungan yang positif antara daya *microwave* dan *yield*. Semakin tinggi daya *microwave* maka semakin besar pula *yield* ekstraksinya [35], [36]. Hasil tertinggi pada penelitian ini adalah daya 600 W dengan rasio F/S sebesar 0,15 g/ml. Penurunan *yield* minyak kapulaga terjadi saat rasio bahan baku dan pelarut memiliki perbedaan yang signifikan (rasio F/S > 0,2 g/ml), hal ini disebabkan oleh keberadaan air pada proses ekstraksi sehingga perlu penyesuaian antara massa bahan dan pelarut. Jumlah pelarut tetap yaitu 1000 ml, sementara massa bahan bertambah pada setiap proses ekstraksi. Inilah yang mengakibatkan penurunan *yield* minyak kapulaga. **Gambar 2b** mengindikasikan bahwa metode *microwave hydrodistillation* menghasilkan *yield* tertinggi pada daya *microwave* 450 W dan 600 W dengan waktu ekstraksi terlama 90 menit. Daya *microwave* tinggi memfasilitasi transfer massa yang lebih cepat, kemudian waktu ekstraksi yang lama dapat meningkatkan interaksi antara bahan baku dan pelarut yang mengakibatkan semakin banyak pecahnya dinding sel dalam tanaman sehingga minyak mudah keluar. Korelasi antara daya *microwave* dan waktu ekstraksi memberikan dampak linier pada hasil ekstraksi. Hubungan antara rasio F/S dan waktu ekstraksi terhadap *yield* minyak kapulaga terlihat pada **Gambar 2c**. Dari profil tersebut, terlihat bahwa waktu ekstraksi yang lebih lama dengan rasio F/S sekitar 0,15 g/ml menghasilkan *yield* yang lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa waktu ekstraksi yang lebih lama dengan rasio F/S yang rendah berkontribusi pada *yield* yang lebih besar karena memungkinkan tercapainya kondisi kesetimbangan fase dengan laju konstan sehingga ekstraksi minyak secara maksimal dapat terjadi. Maka dapat dilaporkan bahwa perolehan *yield* tertinggi ekstraksi biji kapulaga pada penelitian ini sebesar 3,2423%, tercapai pada daya 600 W, rasio F/S 0,15 g/ml, dan waktu ekstraksi 90 menit. Selanjutnya, Mande & Sekar (2021) melaporkan bahwa *yield* paling tinggi pada ekstraksi biji kapulaga dengan metode *microwave assisted hydrodistillation* sebesar 3,35% [37].

### 3.2 Model Kinetika Ekstraksi





**Gambar 3.** Kinetika ekstraksi orde dua dan satu dengan F/S 0,1 g/ml dan (a) daya 300 W (b) daya 450 W (c) 600 W

Pada ekstraksi minyak biji kapulaga menggunakan metode *microwave hydrodistillation* menunjukkan *yield* minyak yang diperoleh akan meningkat secara cepat pada waktu ekstraksi 30-90 menit dan semakin menurun seiring dengan semakin lamanya waktu ekstraksi. Waktu ekstraksi yang digunakan selama 180 menit dengan pengambilan data setiap interval 30 menit. Peningkatan minyak biji kapulaga yang diperoleh dapat ditunjukkan dengan **Gambar 3** antara *yield* dengan waktu ekstraksi. Kemudian, berdasarkan pemodelan kinetika ekstraksi menghasilkan konstanta kinetika ekstraksi yang berbanding lurus dengan laju ekstraksi. Oleh karena itu, semakin cepat reaksi maka semakin besar harga  $k$  dan sebaliknya, semakin lambat reaksi maka semakin kecil pula harga  $k$ . Diketahui harga  $k_1$  (**Tabel 5**) paling tinggi dengan daya *microwave* 600 W yaitu  $0,02308 \text{ min}^{-1}$ , sedangkan  $k_2$  pada orde dua dengan daya *microwave* 300 W adalah  $0,02019 \text{ ml/g.min}$ . Hasil tersebut mengindikasikan bahwa model orde satu memiliki konstanta laju ekstraksi lebih tinggi daripada orde dua. Lebih lanjut, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi menggunakan model orde satu juga berada pada 600 W sebesar 0,99515. Selanjutnya, sebuah model kinetika dianggap mampu secara efektif menggambarkan hasil eksperimen jika memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang mendekati nilai satu dan nilai *root mean square deviation* (RMSD) yang kecil. Nilai RMSD terkecil sebesar  $8,73 \times 10^{-3}$  terdapat pada daya 450 W menggunakan model kinetika orde satu. Selain itu, kapasitas ekstraksi maksimum melalui model model orde satu sebesar 3,4866 % mendekati data eksperimen sebesar 3,2423 %.

**Tabel 5.** Hasil kinetika ekstraksi minyak biji kapulaga dengan metode *microwave hydrodistillation* dengan rasio F/S 0,1 g/ml

Daya <i>microwave</i>	Model kinetika			
	Orde satu		Orde dua	
300 W	$k_1 (\text{min}^{-1})$	0,01904	$k_2 (\text{ml/g.min})$	0,02019
	$Y_s (\%)$	2,196	$Y_s (\%)$	2,0302
	$R^{2*}$	0,95168	$R^{2*}$	0,88050
	RMSD*	0,07977	RMSD*	0,12545
450 W	$k_1 (\text{min}^{-1})$	0,01798	$k_2 (\text{ml/g.min})$	0,01459



	Ys (%)	2,8023	Ys (%)	2,5809
	R <sup>2</sup> *	0,99192	R <sup>2</sup> *	0,85259
	RMSD*	0,00873	RMSD*	0,08510
600 W	k <sub>1</sub> (min <sup>-1</sup> )	0,02308	k <sub>2</sub> (ml/g.min)	0,01583
	Ys (%)	3,4866	Ys (%)	3,2555
	R <sup>2</sup> *	0,99515	R <sup>2</sup> *	0,79921
	RMSD*	0,07931	RMSD*	0,66247

\*Nilai diperoleh dari perhitungan Microsoft Excel®

#### 4. KESIMPULAN

Pemodelan optimasi ekstraksi minyak kapulaga menggunakan metode MAHD menghasilkan *yield* tertinggi pada kondisi daya *microwave* 600 W, F/S 0,15 g/ml, dan waktu ekstraksi selama 90 menit sebesar 3,2423%. Selain itu, penentuan kondisi optimum melalui desain RSM pada ekstraksi minyak kapulaga menggunakan metode MAHD yaitu daya *microwave* 503,650 W, F/S 0,119 g/ml, dan waktu ekstraksi selama 81 menit dengan *yield* sebesar 3,332%. Hasil respon model dari RSM melaporkan bahwa tingkat kesalahan antara nilai prediksi dengan data eksperimen <0,05%. Selanjutnya, berdasarkan analisis kinetika yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa model kinetika orde satu lebih cocok dalam menggambarkan hasil eksperimen dari proses ekstraksi minyak biji kapulaga menggunakan metode MAHD dengan lebih akurat. Kesimpulan lain adalah biji kapulaga dapat dijadikan produk yang digunakan secara luas di berbagai bidang. Oleh karena itu, penelitian ini melaporkan bahwa metode *microwave assisted hydrodistillation* dapat mengekstraksi biji kapulaga dengan efektif.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Lampung dengan skema Penelitian Dosen Pemula (PDP).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Brief, "Market brief," *Export. Glob. Share, Aust. Mark.*, no. September, pp. 19–21, 2013, [Online]. Available: <http://djpen.kemendag.go.id/membership/data/files/7e8dc-Ammonia.pdf>.
- [2] M. S. Butt, A. Naz, M. T. Sultan, and M. M. N. Qayyum, "Anti-oncogenic perspectives of spices/herbs: A comprehensive review," *EXCLI J.*, vol. 12, pp. 1043–1065, 2013.
- [3] P. Makhija, H. K. Handral, G. Mahadevan, H. Kathuria, G. Sethi, and B. Grobden, "Black cardamom (*Amomum subulatum* Roxb.) fruit extracts exhibit apoptotic activity against lung cancer cells," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 287, p. 114953, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.jep.2021.114953.
- [4] A. E. Nugroho, A. Wijayanti, M. Mutmainah, R. Susilowati, and N. Rahmawati, "Gastroprotective Effect of Combination of Hot Water Extracts of Licorice (*Glycyrrhiza glabra*), Pulasari Stem Bark (*Alyxia reinwardtii*), and Sembung Leaf (*Blumea balsamifera*) Against Aspirin-Induced Gastric Ulcer Model Rats," *J. Evidence-Based Complement. Altern. Med.*, vol. 21, no. 4, pp. NP77–NP84, 2016, doi: 10.1177/2156587216637469.
- [5] H. K. Kandikattu *et al.*, "Anti-inflammatory and anti-oxidant effects of Cardamom (*Elettaria repens* (Sonn.) Baill) and its phytochemical analysis by 4D GCXGC TOF-MS," *Biomed. Pharmacother.*, vol. 91, pp. 191–201, 2017, doi: 10.1016/j.biopha.2017.04.049.
- [6] S. G. Zahedi *et al.*, "The effects of green cardamom supplementation on blood pressure and endothelium function in type 2 diabetic patients," *Medicine (Baltimore)*, vol. 99, no. 18, p. e11005, 2020, doi: 10.1097/md.00000000000011005.
- [7] K. R. Aneja and R. Joshi, "Against Dental Caries Causing Microorganisms," *Ethnobot. Leaflet.*, vol. 13, no. 4, pp. 840–849, 2009.
- [8] M. Bhaswant, H. Poudyal, M. L. Mathai, L. C. Ward, P. Mouatt, and L. Brown, "Green and black cardamom in a diet-induced rat model of metabolic syndrome," *Nutrients*, vol. 7, no. 9, pp. 7691–7707, 2015, doi: 10.3390/nu7095360.
- [9] A. Elkomy, M. Aboubakr, and N. Elsawaf, "Renal protective effect of cardamom against nephrotoxicity induced by gentamicin in rats," *Benha Vet. Med. J.*, vol. 29, no. 2, pp. 100–105, 2015, doi: 10.21608/bvmj.2015.31681.
- [10] P. Ballester, B. Cerdá, R. Arcusa, A. M. García-Muñoz, J. Marhuenda, and P. Zafrilla, "Antioxidant Activity in Extracts from Zingiberaceae Family: Cardamom, Turmeric, and Ginger," *Molecules*, vol. 28, no. 10, p. 4024, May 2023, doi: 10.3390/molecules28104024.
- [11] Mutmainah, R. Susilowati, N. Rahmawati, and A. E. Nugroho, "Gastroprotective effects of combination of hot water extracts of turmeric (*Curcuma domestica* L.), cardamom pods (*Amomum compactum* S.) and sembung leaf (*Blumea balsamifera* DC.) against aspirin-induced gastric ulcer model in rats," *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, vol. 4, no. Suppl 1, pp. S500–S504, 2014, doi: 10.12980/APJTb.4.2014C972.

- [12] S. N. Goyal *et al.*, "Protective effects of cardamom in isoproterenol-induced myocardial infarction in rats," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 16, no. 11, pp. 27457–27469, 2015, doi: 10.3390/ijms161126040.
- [13] W. Mączka, A. Duda-Madej, A. Górny, M. Grabarczyk, and K. Wińska, "Can Eucalyptol Replace Antibiotics?," *Molecules*, vol. 26, no. 16, p. 4933, Aug. 2021, doi: 10.3390/molecules26164933.
- [14] L. J. Juergens, H. Worth, and U. R. Juergens, "New Perspectives for Mucolytic, Anti-inflammatory and Adjunctive Therapy with 1,8-Cineole in COPD and Asthma: Review on the New Therapeutic Approach," *Adv. Ther.*, vol. 37, no. 5, pp. 1737–1753, May 2020, doi: 10.1007/s12325-020-01279-0.
- [15] A. Vaidya and M. Rathod, "An in vitro study of the immunomodulatory effects of Piper nigrum ( black pepper ) and Eleutheria cardamomum ( cardamom ) extracts using a murine macrophage cell line," *Am. Int. J. Res. Formal, Applied, Nat. Sci.*, vol. 14, no. 409, pp. 18–27, 2014.
- [16] C. Luo, S. Wang, and H. Liu, "Cellulose conversion into polyols catalyzed by reversibly formed acids and supported ruthenium clusters in hot water," *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 46, no. 40, pp. 7636–7639, 2007, doi: 10.1002/anie.200702661.
- [17] H. Cui *et al.*, "Essential oils from Carex meyeriana Kunth: Optimization of hydrodistillation extraction by response surface methodology and evaluation of its antioxidant and antimicrobial activities," *Ind. Crops Prod.*, vol. 124, no. August, pp. 669–676, 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.08.041.
- [18] Y. Variyana and M. Mahfud, "Optimization Using Solvent-Free Microwave Hydro-diffusion Gravity Extraction of Onion Oil from Allium cepa by Response Surface Methodology," *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 30, no. 3, p. 116, 2019, doi: 10.12962/j20882033.v30i3.5474.
- [19] Y. Variyana and M. Mahfud, "Evaluation and Optimization for Extraction Parameters of Allium sativum Extract using Microwave Hydrodistillation (MHD)," *Chem. J. Tek. Kim.*, vol. 8, no. 2, p. 93, 2022, doi: 10.26555/chemica.v8i2.20844.
- [20] H. F. Zhang, X. H. Yang, and Y. Wang, "Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 22, no. 12, pp. 672–688, 2011, doi: 10.1016/j.tifs.2011.07.003.
- [21] H. H. A. Rassem, A. H. Nour, and R. M. Yunus, "Techniques For Extraction of Essential Oils From Plants: A Review," *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 10, no. 16, pp. 117–127, 2016, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [22] R. Mathialagan, A. H. Nour, Z. A. Sulaiman, A. H. Nour, and T. R. S., "A Comparative Study of Lemongrass (Cymbopogon Citratus) Essential Oil Extracted by Microwave-Assisted Hydrodistillation (MAHD) and Conventional Hydrodistillation (HD) Method," *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, vol. 5, no. 2, pp. 104–108, 2014, doi: 10.7763/ijcea.2014.v5.360.
- [23] Y. Variyana, M. Mahfud, Z. Ma'sum, B. I. Ardianto, L. P. Syahbana, and D. S. Bhuana, "Optimization of microwave hydro-distillation of lemongrass leaves (Cymbopogon nardus) by response surface methodology," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 673, no. 1, p. 012006, Dec. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/673/1/012006.
- [24] J. Wang, B. Sun, Y. Cao, Y. Tian, and X. Li, "Food Chemistry Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran," *Food Chem.*, vol. 106, pp. 804–810, 2008, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.06.062.
- [25] Y.-T. Cheng, Z. Wang, C. J. Gilbert, W. Fan, and G. W. Huber, "Production of p-Xylene from Biomass by Catalytic Fast Pyrolysis Using ZSM-5 Catalysts with Reduced Pore Openings," *Angew. Chemie*, vol. 124, no. 44, pp. 11259–11262, 2012, doi: 10.1002/ange.201205230.
- [26] R. S. C. Muchammad, M. Mahfud, and L. Qadariyah, "Study of Extraction Calophyllum inophyllum L using Microwave Hydrodiffusion Gravity And Chemical Extraction method," *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 31, no. 1, p. 33, 2020, doi: 10.12962/j20882033.v31i1.5629.
- [27] A. Q. Syafaatullah, Y. Variyana, N. Rohmah, I. Mufaidah, and A. Q. A'yun, "Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction Parameters from Indigofera Tinctoria L using Response Surface Methodology," *J. Res. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 175–186, 2021.
- [28] Z. Ma'sum, D. S. Bhuana, and M. Mahfud, "Kinetics study of microwave hydrodistillation (MHD) fresh and dried Cymbopogon Nardus leaves," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2349, no. June, p. 020057, 2021, doi: 10.1063/5.0051768.
- [29] Y. Variyana and M. Mahfud, "Kinetics Study Using Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from Allium sativum L.," *Key Eng. Mater.*, vol. 840, pp. 186–192, Apr. 2020, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.840.186.
- [30] E. Bayraktar, "Response surface optimization of the separation of DL-tryptophan using an emulsion liquid membrane," *Process Biochem.*, vol. 37, no. 2, pp. 169–175, 2001, doi: 10.1016/S0032-9592(01)00192-3.
- [31] D. Belhaj *et al.*, "Box-Behnken design for extraction optimization of crude polysaccharides from Tunisian Phormidium versicolor cyanobacteria (NCC 466): Partial characterization, in vitro antioxidant and antimicrobial activities," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 105, pp. 1501–1510, 2017, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.06.046.

- [32] Z. Šumić, A. Vakula, A. Tepić, J. Čakarević, J. Vitas, and B. Pavlić, "Modeling and optimization of red currants vacuum drying process by response surface methodology (RSM)," *Food Chem.*, vol. 203, pp. 465–475, 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.02.109.
- [33] A. Y. Aydar and O. Köseoğlu, "Effect of ultrasound on olive oil extraction and optimization of ultrasound-assisted extraction of extra virgin olive oil by response surface methodology (RSM)," *Grasas y Aceites*, vol. 68, no. 2, pp. 1–11, 2017, doi: 10.3989/gya.1057162.
- [34] S. K. Behera, H. Meena, S. Chakraborty, and B. C. Meikap, "Application of response surface methodology (RSM) for optimization of leaching parameters for ash reduction from low-grade coal," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 4, pp. 621–629, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.ijmst.2018.04.014.
- [35] Z. Ciğeroğlu, M. Bayramoğlu, Ş. İ. Kırbaşlar, and S. Şahin, "Comparison of microwave-assisted techniques for the extraction of antioxidants from *Citrus paradisi* Macf. biowastes," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 58, no. 3, pp. 1190–1198, Mar. 2021, doi: 10.1007/s13197-020-04632-x.
- [36] H. Xue *et al.*, "Effects of Microwave Power on Extraction Kinetic of Anthocyanin from Blueberry Powder considering Absorption of Microwave Energy," *J. Food Qual.*, vol. 2018, pp. 1–13, 2018, doi: 10.1155/2018/9680184.
- [37] P. Mande and N. Sekar, "Comparative study of chemical composition, antibacterial and antioxidant activity of essential oils isolated from the seeds of *Amomum subulatum* by using microwave extraction and hydro-distillation methods," *J. Indian Chem. Soc.*, vol. 98, no. 11, p. 100201, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jics.2021.100201.