

OPTIMASI EKSTRAK BIOAKTIF PROPOLIS MENGGUNAKAN *MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION DENGAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*

Nabila Marthia¹, Rini Triani¹, Nur Annisa Fitriana M¹

¹Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Jl. Dr. Setiabudi No. 193, Bandung, Indonesia

E-mail korespondensi: nabilamarthia@unpas.ac.id

Abstrak

Propolis merupakan produk alami lebah yang kaya akan senyawa bioaktif seperti flavonoid dan fenol, berperan penting sebagai antioksidan. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan proses ekstraksi propolis menggunakan metode *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) dengan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) dan desain *Central Composite Design* (CCD). Variabel bebas meliputi volume pelarut (89,64-160,36 mL) dan waktu ekstraksi (4,38-8,62 menit), dan aktivitas antioksidan (IC_{50}). Semua respon mengikuti model kuadratik dengan nilai koefisien determinasi ($R^2 > 0,9$) dan *lack of fit* yang tidak signifikan. Kondisi optimum diperoleh pada volume pelarut 160,36 mL dan waktu ekstraksi 6,5 menit dengan nilai *desirability* 0,98. Hasil verifikasi menunjukkan kesesuaian antara nilai prediksi dan data eksperimen aktual dalam *prediction interval* 95%. Hasil ini menegaskan bahwa metode MAE efektif untuk menghasilkan ekstrak propolis berkualitas dengan potensi aktivitas biologis yang kuat.

Kata kunci: Propolis, Microwave-Assisted Extraction, RSM, Total Fenol, Antioksidan

Abstract

Propolis is a natural bee product rich in bioactive compounds such as flavonoids and phenols, which act as potent antioxidants. This study aimed to optimize the extraction of propolis using the Microwave-Assisted Extraction (MAE) method through a Response Surface Methodology (RSM) approach and Central Composite Design (CCD). The independent variables were solvent volume (89,64-160,36 mL) and extraction time (4,38-8,62 min), while the responses measured included total flavonoids, total phenols, and antioxidant activity (IC_{50}). All responses followed a quadratic model with high coefficients of determination ($R^2 > 0.9$) and non-significant lack of fit. The optimum condition was achieved at 160,36 mL solvent volume and 6.5 min extraction time, with a desirability value of 0.98. Verification showed that experimental values fell within the 95% prediction interval, confirming the accuracy of the model. These results demonstrate that MAE is an efficient method for producing quality propolis extracts with strong biological potential.

Keywords: Propolis, Microwave-Assisted Extraction, RSM, Total Phenol, Antioxidant

1. Pendahuluan

Propolis merupakan bahan resin yang dikumpulkan oleh lebah madu dari berbagai bagian tumbuhan yang bersifat kental dan memiliki lebih dari 300 unsur kimia, terutama golongan flavonoid dan senyawa fenolik (Bankova et al., 2021). Karena kandungan senyawa fenolik dan flavonoid, ekstrak propolis menunjukkan berbagai sifat biologis termasuk antioksidan, antikanker, dan anti-inflamasi yang berpotensi mengubah propolis menjadi pangan fungsional (Fikri et al., 2019). Namun pemanfaatan propolis sebagai bahan pangan masih sangat terbatas karena rasa dan aromanya yang kuat, serta kelarutan dalam air yang rendah (Pant et al., 2022).

Pemilihan prosedur ekstraksi yang tepat penting untuk menghasilkan produk yang mengandung propolis berkualitas tinggi mengingat komposisi kimia propolis sangat bervariasi. Ekstraksi unsur bioaktif dari propolis bertujuan untuk molarutkan senyawa penting yang berasal dari tumbuhan dan menghilangkan lilin yang selalu ada dalam propolis hingga 20% (Bankova et al., 2021).

Metode ekstraksi tradisional seperti maserasi memerlukan waktu yang lama, konsumsi pelarut yang tinggi, dan sering kali tidak efisien dalam menghasilkan senyawa bioaktif. *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) muncul sebagai metode inovatif yang menawarkan solusi atas permasalahan ini dengan memanfaatkan gelombang mikro untuk mempercepat proses ekstraksi, meningkatkan rendemen senyawa aktif, dan mengurangi penggunaan energi dan pelarut (Li et al., 2019).

Prinsip kerja MAE yaitu dibawah pengaruh radiasi gelombang mikro, jaringan sel akan menyebabkan pergerakan molekul melalui migrasi ion dan rotasi dipol yang mengakibatkan pecahnya dinding sel dan jaringan, kemudian keluarnya zat terlarut sehingga laju ekstraksi dipercepat (Li et al., 2019). Penelitian menetapkan bahwa gelombang mikro tidak hanya meningkatkan hasil dan mempersingkat waktu ekstraksi, namun juga menunjukkan selektivitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode ekstraksi maserasi dan refluks dalam mengekstraksi flavonoid dari propolis (Juodeikaitė et al., 2022).

Meskipun efektivitas MAE telah dilaporkan dalam berbagai studi, pengaplikasiannya pada ekstraksi propolis belum sepenuhnya dieksplorasi, terutama dalam skala yang dapat diterapkan pada industri. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada optimasi ekstraksi propolis menggunakan MAE dengan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengatasi

keterbatasan metode konvensional dan meningkatkan kualitas serta potensi penggunaan propolis sebagai bahan tambahan pangan fungsional.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah propolis mentah dari Kabupaten Probolinggo, pelarut etanol 96% *food grade*, aquades, standar fenol, standar flavonoid, dan kertas saring Whatman No.40. Alat yang digunakan meliputi microwave oven 2,45 MHz dengan daya 450 watt, evaporator vakum merk Buchi, spektrofotometer UV-Visibel merek Shimadzu, sentrifugator, neraca analitik, pH meter, dan peralatan gelas laboratorium.

2.2. Persiapan Bahan Baku

Sebanyak 1 kg propolis dipotong menjadi ukuran lebih kecil, disimpan di lemari pendingin pada suhu 10°C hingga kering dan dilakukan proses pengecilan ukuran menjadi simplisia. Hasil simplisia propolis dihaluskan sehingga diperoleh serbuk simplisia propolis.

2.3. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini menggunakan tipe *Central Composite Design* (CCD) dengan variabel independen yang digunakan dalam analisis RSM adalah :

- Volume pelarut etanol 96% - *Factorial level* : 100–150 mL (batas bawah 100 mL, batas atas 150 mL) - *Axial points* : 89,64–160,36 mL (dengan $\alpha = \pm 1,414$)
- Waktu ekstraksi MAE - *Factorial level* : 5–8 menit (batas bawah 5 menit, batas atas 8 menit) - *Axial points*: 4,38–8,62 menit (dengan $\alpha = \pm 1,414$).

Tabel 1. Desain Variabel Independen dalam CCD

Variabel	Coded Level	Actual Value	Keterangan
A : Volume Pelarut (mL)	- α	89,64	<i>Axial point</i>
	-1	100	<i>Factorial</i>
	0	125	<i>Center point</i>
	+1	150	<i>Factorial</i>
	+ α	160,36	<i>Axial point</i>
B : Waktu Ekstraksi (menit)	- α	4,38	<i>Axial point</i>
	-1	5	<i>Factorial</i>
	0	6,5	<i>Center point</i>
	+1	8	<i>Factorial</i>
	+ α	8,62	<i>Axial point</i>

$\alpha = 1,414$ (untuk desain *rotatable* CCD dengan 2 faktor).

Ketentuan batasan setiap variabel merupakan hasil *trial and error*. Desain CCD secara otomatis menambahkan *axial points* di

luar *range* faktorial untuk mengeksplorasi wilayah optimal yang mungkin berada di luar prediksi awal. Respon yang dioptimasi adalah total flavonoid, total fenol, dan aktivitas antioksidan (IC_{50}).

2.4. Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi dilakukan menggunakan serbuk propolis dengan faktor variabel independen sesuai desain yang disarankan. Proses pengolahan dilakukan secara batch dari proses ekstraksi, filtrasi, dan evaporasi menggunakan *vacuum evaporator*.

2.5. Analisis Respon

Analisis dilakukan terhadap total flavonoid menggunakan metode kolorimetri, total fenol dengan metode *Folin-Ciocalteu*, dan aktivitas antioksidan dengan metode DPPH (dinyatakan dalam IC_{50}).

2.6. Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *Response Surface Methodology* dengan software *Design Expert version 13*. Analisis ANOVA dilakukan untuk menentukan model yang sesuai (linier, kuadratik, atau kubik). Optimasi dilakukan dengan target maksimum untuk total flavonoid, total fenol, dan minimum untuk IC_{50} antioksidan. Verifikasi formula optimal dilakukan untuk memvalidasi model prediksi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemilihan Pelarut

Etanol 96% dipilih dalam penelitian ini dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Aspek Keamanan dan Regulasi

Etanol 96% *food-grade* merupakan pelarut yang aman (GRAS - *Generally Recognized as Safe*) untuk aplikasi pangan dan farmasi, serta mudah diperoleh dengan kemurnian tinggi (Herrera & Castro-Puyana, 2013).

2. Efisiensi dengan Metode MAE

Kombinasi etanol konsentrasi tinggi dengan MAE memberikan keuntungan :

- Waktu ekstraksi sangat singkat (6,5 menit) mengurangi risiko degradasi termal.
- Pemanasan volumetrik yang cepat mengompensasi kepolaran yang lebih rendah dibanding etanol 70-80%.
- Efisiensi energi lebih tinggi

3. Ekstraksi Senyawa Lipofilik dan Semi-Polar

Etanol 96% lebih efektif untuk mengekstraksi spektrum senyawa yang luas, termasuk senyawa lipofilik seperti beberapa jenis flavonoid dan ester fenolik dalam propolis. Propolis mengandung hingga 20% lilin yang bersifat non-polar, sehingga etanol

konsentrasi tinggi dapat lebih efektif (Bankova et al., 2021).

4. Efisiensi Proses Lanjutan Volatilitas

Etanol 96% yang lebih tinggi memudahkan tahap evaporasi dan pemisahan pelarut dari ekstrak akhir, meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan.

3.2. Total Flavonoid

Hasil analisis kandungan total flavonoid dari 14 run percobaan menunjukkan rentang nilai antara 2,41% hingga 4,52% seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Analisis Total Flavonoid (%)

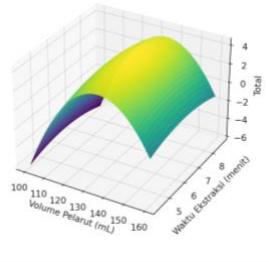
Run	Volume Pelarut (mL)	Waktu Ekstraksi (menit)	Total Flavonoid (%)
1	125	6,5	3,24
2	100	5	2,87
3	100	8	3,15
4	125	6,5	3,28
5	150	8	4,13
6	125	6,5	3,26
7	150	5	3,76
8	125	6,5	3,19
9	160,36	6,5	4,52
10	89,65	6,5	2,41
11	125	6	3,23
12	125	7	3,25
13	125	4,38	2,94
14	125	8,62	3,68

Kondisi optimum diperoleh pada volume pelarut 160,36 mL dan waktu ekstraksi 6,5 menit yang menghasilkan kandungan flavonoid tertinggi yaitu 4,52%.

Tabel 3. Tabel ANOVA Respon Total Flavonoid

Sumber Variasi	df	SS	MS	F-valu e	P-value
Model	5	2.36	0.47	12.3	0.001
	7	3	5		2
A – Volume Pelarut	1	0.84	0.84	21.9	0.000
	2	2	7		9
B – Waktu Ekstraksi	1	0.61	0.61	15.9	0.002
	3	3	9		4
AB	1	0.33	0.33	8.63	0.017
	1	1	1		1
A ²	1	0.29	0.29	7.66	0.022
	4	4			8
B ²	1	0.28	0.28	7.46	0.023
	7	7			9
Error	8	0.30	0.03		
	6	8			
Lack of Fit	3	0.08	0.02	0.58	0.646
	3	8			1
Pure Error	5	0.22	0.04		
	3	5			

Sumber Variasi	df	SS	MS	F-value	P-value
Total	1 3	2.67 3			



Gambar 1. Model kuadratik respon total flavonoid

Model kuadratik memberikan hasil signifikan dengan F-value 12,35 ($p < 0,05$) untuk faktor volume pelarut, waktu ekstraksi, interaksi AB, serta kuadrat A^2 dan B^2 dengan persamaan:

$$\text{Total Flavonoid (\%)} = 3,24 + 0,45A + 0,32B - 0,18AB - 0,38A^2 - 0,29B^2$$

A = volume pelarut (mL)

B = waktu ekstraksi (menit)

Nilai *Lack of Fit* tidak signifikan ($p > 0,05$) menunjukkan bahwa model yang digunakan sesuai untuk memprediksi respon ini. Kandungan flavonoid meningkat dengan bertambahnya waktu dan volume pelarut, namun menurun jika waktu terlalu lama yang kemungkinan disebabkan oleh degradasi senyawa flavonoid akibat papanan suhu tinggi dari proses *microwave*. Hasil ini sejalan dengan penelitian Pellati et al. (2013) yang menyatakan bahwa respon global terbaik dicapai ketika kondisi ekstraksi dioptimalkan menggunakan metodologi desain eksperimen *response surface*.

3.3. Total Fenol

Kandungan total fenol bervariasi antara 6,87% hingga 12,94%, dengan nilai tertinggi ditemukan pada run ke-9.

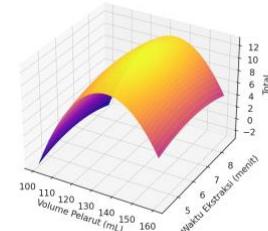
Tabel 4. Hasil Analisis Total Fenol (%)

Run	Volume Pelarut (mL)	Waktu Ekstraksi (menit)	Total Fenol (%)
1	125	6,5	8,76
2	100	5	7,42
3	100	8	8,94
4	125	6,5	8,81
5	150	8	11,27
6	125	6,5	8,69
7	150	5	9,83
8	125	6,5	8,58
9	160,36	6,5	12,94
10	89,65	6,5	6,87

Run	Volume Pelarut (mL)	Waktu Ekstraksi (menit)	Total Fenol (%)
11	125	6	8,63
12	125	7	8,77
13	125	4,38	7,89
14	125	8,62	9,47

Tabel 5. Tabel ANOVA Respon Total Fenol

Sumber Variasi	df	SS	MS	F-value	P-value
Model	5 2	31.13 6.226		19.4 2	0.000 3
A – Volume Pelarut	1 2	10.61 10.61	10.61 2	33.0 8	0.000 2
B – Waktu Ekstraksi	1	8.351	8.351	26.0 1	0.000 5
AB	1	3.218	3.218	10.0 1	0.013 2
A^2	1	4.632	4.632	14.4 2	0.004 5
B^2	1	4.319	4.319	13.4 5	0.005 7
Error	8	2.564	0.321		
Lack of Fit	3	0.798	0.266	0.71	0.576 4
Pure Error	5	1.766	0.353		
Total	1 3	33.69 6			



Gambar 2. Model kuadratik respon total fenol

Model kuadratik untuk respon ini sangat signifikan dengan *F-value* 19,42 ($p < 0,001$), dengan semua parameter (A, B, AB, A^2 , B^2) berkontribusi secara nyata terhadap variasi respon dengan persamaan:

$$\text{Total Fenol (\%)} = 8,76 + 0,62A + 0,44B - 0,26AB - 0,41A^2 - 0,35B^2$$

A = volume pelarut (mL)

B = waktu ekstraksi (menit)

Hal ini menunjukkan bahwa fenol seperti flavonoid larut lebih optimal dalam volume pelarut yang cukup dan waktu pemanasan yang terkendali. Penelitian Bhadange et al. (2024) menjelaskan bahwa senyawa fenolik termasuk salah satu kelompok bioaktif yang sangat sensitif terhadap kondisi ekstraksi seperti suhu, waktu, dan jenis pelarut.

Mereka menekankan bahwa metode MAE memberikan keuntungan besar untuk mengekstraksi senyawa fenolik karena kemampuan gelombang mikro dalam mempercepat pelepasan senyawa melalui pemanasan internal, gangguan dinding sel, dan peningkatan permeabilitas membran.

Etanol sebagai pelarut polar memiliki kemampuan melarutkan senyawa polar dan semi-polar dengan baik. Menurut Azwanida (2015), etanol memiliki konstanta dielektrik 24,55 dan momen dipol 1,69 D yang membuatnya efektif untuk mengekstraksi senyawa fenolik dan flavonoid. Kombinasi etanol dengan MAE dapat mengurangi waktu ekstraksi dari beberapa jam menjadi menit dengan *yield* yang sebanding atau lebih tinggi.

3.4. Aktivitas Antioksidan

Nilai IC₅₀ dari ekstrak propolis berkisar antara 34,7 ppm hingga 58,9 ppm.

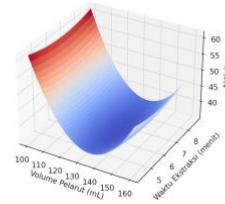
Tabel 6. Hasil Analisis Aktivitas Antioksidan (ppm)

Run	Volume Pelarut (mL)	Waktu Ekstraksi (menit)	Aktivitas Antioksidan (ppm)
1	125	6,5	45,6
2	100	5	52,3
3	100	8	48,7
4	125	6,5	44,9
5	150	8	38,4
6	125	6,5	46,2
7	150	5	41,8
8	125	6,5	47,1
9	160,36	6,5	34,7
10	89,65	6,5	58,9
11	125	6	46,8
12	125	7	45,3
13	125	4,38	53,4
14	125	8,62	42,1

Tabel 7. Tabel ANOVA Respon Total Fenol

Sumbe r Variasi	d f	SS	MS	F- valu e	P- value
Model	5	372.4	74.49	16.7	0.000
A – Volum e Pelarut	1	119.6	119.6	26.8	0.000
B – Waktu Ekstrak si	1	93.84	93.84	21.1	0.001
AB	1	59.12	59.12	13.3	0.006
A ²	1	56.30	56.30	12.6	0.007
B ²	1	43.58	43.58	9.80	0.014
Error	8	35.63	4.45		

Sumbe r Variasi	d f	SS	MS	F- valu e	P- value
Lack of Fit	3	10.18	3.39	0.62	0.621
Pure Error	5	25.45	5.09		
Total	1	408.0			
	3	7			



Gambar 3. Model kuadratik respon aktivitas antioksidan

Semakin kecil nilai IC₅₀ maka semakin tinggi aktivitas antioksidan ekstrak tersebut. Nilai terendah diperoleh pada kombinasi 160,36 mL pelarut dan 6,5 menit waktu ekstraksi yang mengindikasikan bahwa kondisi tersebut mampu menghasilkan senyawa bioaktif dengan aktivitas antioksidan tertinggi. Model ANOVA menunjukkan bahwa faktor A dan B serta semua interaksi dan efek kuadratiknya berpengaruh signifikan terhadap respon ini ($p < 0,05$) dengan persamaan:

$$\text{Aktivitas Antioksidan (ppm)} = 45,6 - 3,21A - 2,77B + 1,82AB + 4,15A^2 + 3,63B^2$$

A = volume pelarut (mL)

B = waktu ekstraksi (menit)

Catatan: Semakin rendah nilai IC₅₀, semakin tinggi aktivitas antioksidan

Aktivitas antioksidan sangat bergantung pada kandungan senyawa fenolik dan flavonoid yang telah terbukti optimal pada kondisi yang sama. Hasil ini sejalan dengan penelitian Bhadange et al. (2024) yang menyatakan bahwa aktivitas antioksidan sangat berkorelasi dengan kandungan fenolik dan flavonoid dalam bahan alam. MAE mampu menghasilkan tingkat efisiensi antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional karena waktu ekstraksi yang singkat dapat mengurangi degradasi senyawa aktif dan meningkatkan kapasitas antioksidan total.

3.5. Optimasi dan Verifikasi

Setelah proses analisis respon, dilakukan optimasi untuk mendapatkan formula terpilih dengan respon yang paling optimal. Sebelum didapatkan hasil, perlu ditentukan komponen dan respon yang dioptimasi, target, batas dan tingkat kepentingan (*importance*) pada tahap optimasi formula seperti pada table 8 berikut:

Tabel 8. Komponen dan respon yang dioptimalisasi, target, batas dan importance pada tahap optimalisasi formula

Komponen / Respon	Target	Batas Bawah	Batas Atas	Importance
Volume Pelarut (A)	In Range	100 mL	160,36 mL	4
Waktu Ekstraksi (B)	In Range	4,3 menit	8,7 menit	4
Total Flavonoid (%)	Maksimum	2,4 %	4,5 %	5
Total Fenol (%)	Maksimum	6,8 %	12,9 %	5
IC ₅₀ Antioksidan (ppm)	Minimum	34 ppm	59 ppm	5

Nilai *desirability* dihitung berdasarkan kesesuaian hasil respon terhadap target optimasi, yaitu memaksimalkan total flavonoid, total fenol, dan meminimalkan IC₅₀ aktivitas antioksidan. Hasilnya didapatkan 2 nilai *desirability* tertinggi yang dapat dilihat pada tabel 9 berikut:

Tabel 9. Solusi Formula Optimal

Run	Volume Pelarut (mL)	Waktu Ekstraksi (menit)	Desirability
5	150	8,0	0,90
9	160,36	6,5	0,98

Formula optimum diperoleh pada volume pelarut 160,36 mL dan waktu ekstraksi 6,5 menit dengan nilai *desirability* sebesar 0,98 yang menunjukkan tingkat kesesuaian model yang sangat tinggi. Nilai *desirability* mendekati 1,00 mengindikasikan bahwa formulasi yang dihasilkan memiliki nilai ketepatan yang tinggi.

Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model prediktif yang dibangun melalui RSM dapat digunakan secara akurat dalam praktik nyata.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Analisis dan Verifikasi

Respon	RSM	Verifikasi	PI 95%	Kesesuaian
Total Flavonoid (%)	4,52	4,48	4,35 – 4,69	Sesuai
Total Fenol (%)	12,94	12,71	12,60 – 13,28	Sesuai
Aktivitas Antioksidan (IC ₅₀ , ppm)	34,70	35,20	33,50 – 35,90	Sesuai

Hasil verifikasi menunjukkan bahwa seluruh respon yang diuji memiliki nilai aktual yang berada dalam rentang prediksi 95% dari

model RSM. Total flavonoid aktual 4,48% (prediksi 4,52%), total fenol aktual 12,71% (prediksi 12,94%), dan IC₅₀ antioksidan aktual 35,20 ppm (prediksi 34,70 ppm). Keseluruhan hasil tersebut menunjukkan bahwa model prediktif yang dikembangkan bersifat akurat, valid, dan dapat diandalkan dengan deviasi yang tidak signifikan secara statistik.

Pentingnya validasi ini juga didukung oleh temuan Rivero-Cruz et al. (2020) yang menekankan bahwa meskipun propolis menunjukkan aktivitas biologis yang signifikan, hasilnya sangat bergantung pada kondisi ekstraksi yang digunakan. Dalam konteks pelarut, etanol dengan konsentrasi 70-96% merupakan pelarut pilihan utama untuk ekstraksi propolis karena kemampuannya mengekstraksi komponen bioaktif utama seperti flavonoid, asam fenolik, dan ester fenolik (Bankova et al., 2016). Selain itu menurut Hasan et al. (2013) bahwa etanol 70% dapat milarutkan bahan aktif propolis paling aktif dibandingkan dengan konsentrasi etanol lainnya (30,50 dan 90%) dengan total flavonoid yang diperoleh sebesar 15,31% (b/b). Meskipun beberapa penelitian menunjukkan etanol 70-96% optimal untuk ekstraksi senyawa fenolik secara umum, kombinasi etanol 96% dengan metode MAE dalam penelitian ini menghasilkan kandungan flavonoid 4,48% dan fenol 12,71%, yang menunjukkan efektivitas tinggi metode ini.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengoptimalkan ekstraksi propolis menggunakan metode *Microwave-Assisted Extraction* dengan pendekatan *Response Surface Methodology* dan desain *Central Composite Design*. Variabel volume pelarut dan waktu ekstraksi berpengaruh signifikan terhadap total flavonoid, total fenol, dan aktivitas antioksidan. Formula optimum diperoleh pada volume pelarut 160,36 mL dan waktu ekstraksi 6,5 menit dengan nilai *desirability* 0,98. Model kuadratik yang dibangun terbukti akurat dan dapat digunakan untuk prediksi proses ekstraksi propolis secara efisien dan efektif. Metode MAE terbukti efektif dalam menghasilkan ekstrak propolis berkualitas dengan potensi aplikasi sebagai bahan tambahan pangan fungsional.

5. Daftar Pustaka

1. Azwanida NN. 2015. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants* 2015; 4(3): 1-6.

2. Bankova V, Bertelli D, Borba R, Conti BJ, da Silva Cunha IB, Danert C, Sforcin JM. Standard methods for Apis mellifera propolis research. *Journal of Apicultural Research* 2016; 55(1): 1-49.
3. Bankova V, Trusheva B, Popova M. Propolis extraction methods: a review. *Journal of Apicultural Research* 2021; 60: 734-743.
4. Bhadange DG, Patel D, Darji KR, Prajapati HB, Sawant SD, Killedar SG, Tambe MR. A comprehensive review on advanced extraction techniques for retrieving bioactive components from natural matrices. *Arabian Journal of Chemistry* 2024; 17(3): 105290.
5. Fikri AM, Sulaeman A, Marliyati SA, Fahrudin M. Antioxidant activity and total phenolic content of stingless bee propolis from Indonesia. *Journal of Apicultural Science* 2019; 63(1): 139-147.
6. Hasan AEZ, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Setiyono A. Optimasi Ekstraksi Propolis Menggunakan Cara Maserasi dengan Pelarut Etanol 70% dan Pemanasan Gelombang Mikro serta Karakterisasinya sebagai Bahan Antikanker Payudara. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 2013; 23(1): 13-21.
7. Herrera M, Castro-Puyana M. Comparison of antioxidant activity methods. *Food Analytical Methods* 2013; 6: 732-742.
8. Juodeikaitė D, Žilius M, Briedis V. Preparation of Aqueous Propolis Extracts Applying Microwave-Assisted Extraction. *Processes* 2022; 10(7): 1330.
9. Li A, Xiao R, He S, An X, He Y, Wang C, Yin S, Wang B, Shi X, He J. Research advances of purple sweet potato anthocyanins: Extraction, identification, stability, bioactivity, application, and biotransformation. *Molecules* 2019; 24(21): 3816.
10. Pant K, Thakur M, Chopra HK, Nanda V. Encapsulated bee propolis powder: Drying process optimization and physicochemical characterization. *LWT* 2022; 155: 112956.
11. Pellati F, Prencipe FP, Bertelli D, Benvenuti S. An efficient chemical analysis of phenolic acids and flavonoids in raw propolis by microwave-assisted extraction combined with high-performance liquid chromatography using the fused-core technology. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 2013; 81-82: 126-132.
12. Rivero-Cruz JF, Granados-Pineda J, Pedraza-Chaverri J, García-Carrancá A, Rivero-Cruz BE. Phytochemical constituents, antioxidant activity, and antiproliferative properties of propolis from two stingless bee species (Meliponini) from the South of Mexico. *Antioxidants* 2020; 9(1): 70.
13. Zhao CN, Zhang JJ, Li Y, Meng X, Li HB. Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from Melastoma sanguineum fruit: Optimization and identification. *Molecules* 2018; 23(10): 2498.