

**OPTIMIZATION OF MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION (MAE) OF
CHLOROPHYLL PIGMENTS IN PAKCOY (*Brassica rapa* L.)**

**OPTIMASI MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION (MAE) PADA PIGMEN
KLOROFIL MASERAT PAKCOY (*Brassica rapa* L.)**

Jilan Hanifa*, Andi Eko Wiyono, Bambang Herry Purnomo

Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jember, Indonesia

Diterima 11 Juli 2025 / Disetujui 6 September 2025

ABSTRACT

Pak choi (Brassica rapa L.) is a type of green vegetable from the Brassicaceae family that is rich in chlorophyll pigments. The distinctive green color of pak choi indicates a high chlorophyll content, making it a source of natural antioxidants that are useful in warding off free radicals. The abundant chlorophyll content and its biological benefits open up great opportunities to develop pak choi as a functional food raw material. One effective and efficient extraction method is Microwave-Assisted Extraction (MAE), which utilizes microwaves to accelerate the extraction process while maintaining the quality of bioactive compounds. The Response Surface Methodology (RSM) approach is used as a method for designing experiments and optimization. The variables studied include extraction time with a range of 1 to 3 minutes with a solvent volume having a minimum value limit of 100 mL and a maximum of 200 mL. The purpose of this study was to determine the optimum point, so that the right conditions for pak choi extraction using the MAE method can be determined. The results showed that the recommended optimum formula was extraction with a treatment time of 1.82 minutes and a solvent volume of 154.3 mL with a desirability value of 0.876. The extract obtained had characteristics of a yield of 88.114%, chroma of 12.746, and total chlorophyll of 4.969 mg/L. Verification of the optimum conditions of pak choi extract, the average total chlorophyll produced was 5.349 mg/L, Chroma of 11.297, and a yield of 85.53%. Physicochemical testing showed a ° Hue of 143.802, a Total Dissolved Solids (TPT) value of 1.253° Brix, while the pH value of the pak choi extract was 7.05.

Keywords : Extract, Chlorophyll, MAE, Pak choi, RSM

ABSTRAK

Pakcoy (*Brassica rapa* L.) merupakan salah satu jenis sayuran hijau dari famili *Brassicaceae* yang kaya akan pigmen klorofil. Warna hijau khas pada pakcoy menunjukkan kandungan klorofil yang tinggi, sehingga menjadikannya sebagai sumber antioksidan alami yang bermanfaat dalam menangkal radikal bebas. Kandungan klorofil yang melimpah dan manfaat biologisnya membuka peluang besar untuk mengembangkan pakcoy sebagai bahan baku pangan fungsional. Salah satu metode ekstraksi yang efektif dan efisien adalah *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) dengan memanfaatkan gelombang mikro untuk mempercepat proses ekstraksi dengan tetap menjaga kualitas senyawa bioaktif. Pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) digunakan sebagai metode perancangan eksperimen dan optimasi. Variabel yang diteliti meliputi waktu ekstraksi dengan rentang 1 sampai 3 menit dengan volume pelarut memiliki batas nilai minimum 100 mL dan maksimum 200 mL. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan titik optimum, sehingga dapat ditentukan kondisi yang tepat untuk ekstraksi pakcoy dengan metode MAE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula optimum yang direkomendasikan adalah ekstraksi dengan waktu perlakuan 1,82 menit dan volume pelarut 154,3 mL

* Korespondensi Penulis :
Email: jilanhnf.28@gmail.com

dengan nilai desirability sebesar 0,876. Ekstrak yang diperoleh memiliki karakteristik rendemen 88,114%, kroma 12,746, dan total klorofil 4,969 mg/L. Verifikasi kondisi optimum ekstrak pakcoy, rata-rata total klorofil yang dihasilkan sebesar 5,349 mg/L, Chroma 11,297, dan rendemen 85,53%. Pengujian fisikokimia menunjukkan °Hue sebesar 143.802, nilai TPT yang diperoleh sebesar 1,253°Brix, sedangkan nilai pH ekstrak pakcoy sebesar 7,05.

Kata kunci : Ekstrak, Klorofil, MAE, Pakcoy, RSM

PENDAHULUAN

Sawi memiliki berbagai variasi, tetapi varietas yang umumnya ditanam di Indonesia meliputi sawi hijau, sawi putih, dan pakcoy. Pakcoy (*Brassica rapa L.*), merupakan salah satu varietas tanaman sayuran yang termasuk dalam famili *Brassicaceae*. Menurut penelitian Purba dan Dedy (2017), pakcoy memiliki daun yang lebih lebar dibandingkan sawi hijau biasa, sehingga sering digunakan sebagai hidangan oleh masyarakat. Dalam setiap 100 g, pakcoy memiliki nilai gizi berupa energi 15 kalori, protein 1,8 g, lemak 0,2 g, karbohidrat 2,5 g, serat 0,6 g, fosfor 31 milig, kalium 225 milig, dan kadar air 92,4 g. Sayuran ini memiliki warna hijau, yang artinya sumber pigmen klorofil terbaik untuk memerangi radikal bebas. Hasil penelitian (Ahmadi *et al.*, 2023) menunjukkan bahwa pakcoy memiliki nilai klorofil total yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis sawi lainnya, seperti sawi dayak dan caisim, yaitu sebesar 28,366 mg/L. Keunggulan biologis klorofil alami dan ketersediaannya yang melimpah membuatnya menjadi kandidat yang menjanjikan untuk dikembangkan sebagai komponen makanan fungsional atau suplemen makanan (Sari dan Sholihatil, 2020).

Pigmen klorofil dapat diperoleh dengan cara melakukan ekstraksi. Ekstraksi adalah proses pemisahan senyawa yang dapat larut dari komponen yang tidak dapat larut dengan menggunakan pelarut cair. Tujuan dari ekstraksi adalah untuk memperoleh komponen kimia yang ada dalam bahan alami (Saputra *et al.*, 2020). Ekstraksi dapat dilakukan secara konvensional maupun nonkonvensional. Ekstraksi konvensional dapat dilakukan dengan cara maserasi, sokhletasi, perkolasi dan sebagainya, sedangkan ekstraksi nonkonvensional dapat dilakukan dengan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). *Microwave Assisted Extraction* adalah teknik ekstraksi yang meningkatkan kecepatan dan efisiensi ekstraksi selektif dengan menggunakan radiasi gelombang mikro dengan memanaskan pelarut (Nisa *et al.*, 2014). Hal ini terjadi karena energi gelombang mikro dapat menyebabkan pergerakan molekuler yang sangat cepat dan menghasilkan gesekan yang efisien. Gesekan tersebut menghasilkan energi panas yang mampu menyebabkan kerusakan pada dinding sampel, sehingga memungkinkan senyawa untuk keluar dan berdifusi dengan pelarut (Delazar *et al.*, 2012). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sumarlan *et al.* (2018), menunjukkan bahwa ekstraksi konvensional memerlukan lebih banyak pelarut dan waktu yang lebih lama dan membutuhkan panas untuk meningkatkan laju transfer massa dalam sistem ekstraksi. Hal ini berbeda dengan ekstraksi nonkonvensional menggunakan *Microwave Assisted Extraction* (MAE). Metode ini menawarkan keunggulan yaitu waktu ekstraksi yang lebih cepat, mengurangi konsumsi energi dan pelarut, serta menghasilkan *yield* yang lebih tinggi.

Microwave Assisted Extraction (MAE) telah banyak digunakan sebagai metode ekstraksi untuk menguji aktivitas antioksidan pada berbagai bahan alam, seperti pada daun pelawan (Enggiwanto *et al.*, 2018), bunga pepaya (Mukhaimin *et al.*, 2018), daun asam jawa (Hidayati *et al.*, 2024), daun mangga gedong (Latifah dan Muhammad Nuh, 2024), dan kulit buah naga (Harni *et al.*, 2023). Meskipun *Microwave Assisted Extraction* (MAE) telah menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam berbagai bidang ekstraksi, aplikasinya masih relatif terbatas dan memerlukan eksplorasi yang lebih mendalam pada beragam jenis bahan alam. Berdasarkan hal tersebut, ekstraksi klorofil dari daun

pakcoy (*Brassica rapa L.*) muncul sebagai fokus penelitian yang sangat menarik dan inovatif, mengingat sayuran hijau ini merupakan komoditas yang kaya akan nutrisi namun potensi klorofilnya masih belum pernah dieksplorasi secara komprehensif melalui metode MAE. Dengan mempertimbangkan karakteristik unik pakcoy yang memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan struktur daun yang khas, penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengembangkan pendekatan baru dalam mengekstraksi senyawa pigmen hijau dari bahan nabati.

Ekstraksi pigmen klorofil pada sayuran pakcoy (*Brassica rapa L.*) pada penelitian ini menggunakan metode MAE. *Response Surface Method* (RSM) adalah pendekatan yang efektif untuk mengoptimalkan proses ekstraksi. Metode ini juga digunakan untuk mengembangkan, memperbaiki, dan mengoptimalkan proses ekstraksi, serta mengevaluasi efek variabel dan interaksi (Sari dan Tri, 2020). Volume pelarut dan waktu ekstraksi adalah variabel yang dipertimbangkan dalam penelitian ini. Etanol 96% adalah pelarut yang digunakan pada penelitian ini.

Penggunaan waktu dan volume pelarut yang sesuai, akan memberikan pengaruh besar terhadap ekstrak yang diperoleh. Penelitian Koesnadi *et al.* (2021) menunjukkan bahwa ekstraksi menggunakan metode MAE dengan waktu lebih dari 4 menit dapat menyebabkan penurunan respon total fenol. Hal ini disebabkan oleh peningkatan suhu yang dihasilkan selama proses ekstraksi, yang dapat merusak senyawa bioaktif yang sensitif terhadap panas. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini berfokus pada penggunaan waktu ekstraksi yang lebih singkat, yaitu pada rentang 1 hingga 3 menit. Penggunaan volume pelarut yang berlebihan dapat menghambat transmisi energi dari gelombang ultrasonik karena diserap oleh pelarut sebelum mencapai matriks material (Winnie, W., 2015). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi lokasi yang ideal, sehingga dapat mengetahui kondisi yang sesuai untuk ekstraksi pakcoy dengan metode MAE. Variabel respon yang akan dioptimalkan antara lain rendemen, Chroma, dan klorofil total. Optimasi bertujuan untuk mencapai hasil terbaik dari proses ekstraksi, yaitu mendapatkan respon dan aktivitas bahan aktif ekstrak yang tinggi (Maksum dan Mulyo, 2017).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Pakcoy segar dengan daun berwarna hijau menjadi bahan utama dalam penelitian ini, sedangkan etanol 96% dan aquades berperan sebagai bahan pendukung. Beberapa alat digunakan dalam penelitian ini antara lain aplikasi *Design Expert* 13, neraca digital, pisau, mortar dan alu, gelas ukur, *beaker glass*, spatula, erlenmeyer, labu ukur, kassa, loyang aluminium, oven *microwave* SHARP R-220MA, aluminium foil, *micropipet*, pipet tetes, spektrofotometer UV-Vis, pH meter, *color reader* AMTAST AMT506, *handrefraktometer*, dan lemari pendingin.

Rancangan Penelitian

Percobaan menggunakan metode eksperimen dengan evaluasi dan optimasi kondisi ekstraksi ditentukan oleh aplikasi *Design Expert* 13 dengan memakai cara RSM (*Response Surface Methodology*) dengan rancangan penelitian menggunakan CCD (*Central Composite Design*). Variabel ditentukan berdasarkan studi literasi dari hasil penelitian sejenis dan dijadikan sebagai dasar penentuan batas minimum dan maksimum nilai masing-masing level faktor. Variabel yang digunakan adalah waktu ekstraksi (menit) serta volume pelarut (ml). Penelitian dimulai dari proses identifikasi masalah, studi literatur, penentuan kondisi ekstraksi dengan metode RSM, persiapan bahan baku yaitu sayuran pakcoy, pembuatan ekstrak, analisis respon dan optimasi, penentuan perlakuan optimum, verifikasi data optimasi, analisis fisikokimia, dan analisis data.

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan ekstrak kasar klorofil sayuran pakcoy dilakukan menggunakan cara MAE, di mana jumlah perlakuan (*running*) ditentukan berdasarkan desain eksperimen yang dibuat dengan aplikasi *Design Expert* 13. Variabel independen yang digunakan mengacu pada penelitian (Hanif *et al.*, 2021) berupa waktu ekstraksi (X1) dengan batas nilai minimum waktu ekstraksi selama 1 menit dan batas nilai maksimum 3 menit serta volume pelarut (X2) memiliki batasan nilai minimum sebesar 100 ml dan juga batasan nilai maksimum 200 ml bisa dilihat pada Tabel 1. Informasi mengenai jumlah unit percobaan yang dianalisis menggunakan CCD tersaji dalam Tabel 2.

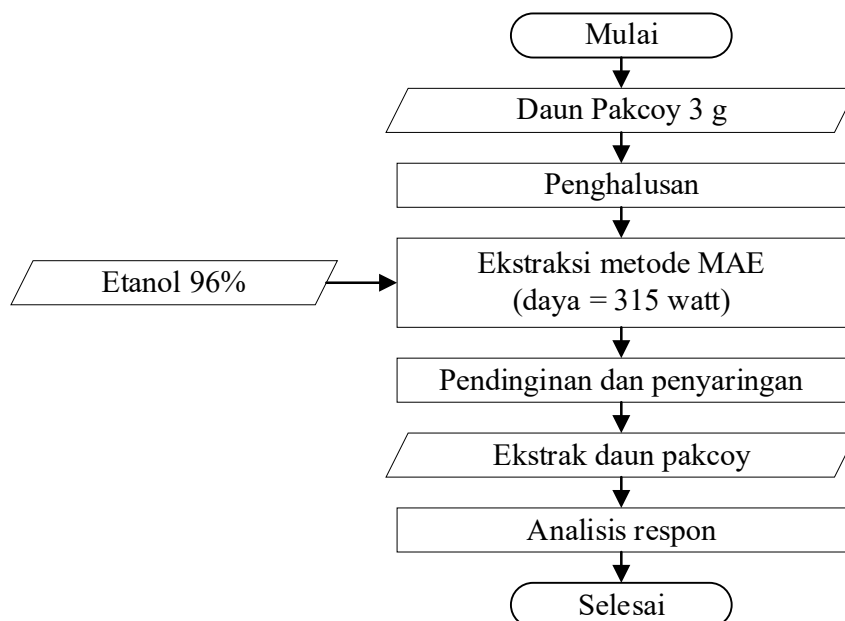
Tabel 1. Variabel perlakuan ekstraksi pakcoy

Variabel	Simbol	Level		
		-1	0	+1
Waktu Ekstraksi (Menit)	X1	1	2	3
Volume Pelarut (ml)	X2	100	150	200

Tabel 2. Optimasi waktu ekstraksi dan volume pelarut pakcoy

Perlakuan	Variabel Terkode		Waktu (menit)	Volume Pelarut (ml)
	X1	X2		
1	-1,414	0	0.586	150
2	-1	-1	1	100
3	-1	1	1	200
4	0	-1,414	2	79.29
5	0	0	2	150
6	0	0	2	150
7	0	0	2	150
8	0	0	2	150
9	0	0	2	150
10	0	1,414	2	220.7
11	1	-1	3	100
12	1	1	3	200
13	1,414	0	3.41	150

Proses ekstraksi sayuran pakcoy mengacu pada penelitian (Widyasanti *et al.*, 2018) yang dimodifikasi. Sebanyak 3 g sayuran pakcoy dihaluskan lalu ditambahkan etanol 96% dengan penambahan volume pelarut sesuai parameter penelitian. Pemilihan etanol 96% sebagai pelarut didasarkan pada temuan penelitian (Haryani *et al.*, 2021). Menurut penelitian tersebut, etanol 96% merupakan pelarut yang lebih efektif daripada aseton dalam menghasilkan persentase hasil ekstrak yang lebih besar. Selain itu, etanol memiliki tingkat toksisitas yang relatif rendah dibandingkan aseton dan umumnya tidak menimbulkan efek berbahaya pada paparan dalam jumlah kecil. Proses ekstraksi dilakukan menggunakan iradiasi gelombang mikro dengan pengaturan daya pada tingkat 70% (setara dengan 315 watt) atau pada level *medium-high* dan waktu sesuai parameter penelitian. Penggunaan daya yang terlalu tinggi mengakibatkan degradasi termal komponen bioaktif ekstrak (Georgiopoulou *et al.*, 2023). Ekstrak kasar klorofil yang diperoleh didinginkan, lalu disaring menggunakan kassa. Selanjutnya, ekstrak kasar klorofil pakcoy tersebut dianalisis respon rendemen, Hue, Chroma, dan Klorofil Total. Diagram alir pembuatan ekstrak sayuran pakcoy dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram alir pembuatan ekstrak pakcoy

Ekstrak klorofil yang diperoleh dimurnikan melalui proses sentrifugasi pada kecepatan 1000 rpm selama 10 menit. Supernatan yang mengandung klorofil murni kemudian dipisahkan. Sebanyak 1 ml ekstrak hasil sentrifugasi diambil dan diencerkan hingga volume 10 ml dalam labu ukur. Pengukuran kadar klorofil tersebut dilakukan melalui metode spektrofotometri yang merujuk pada penelitian (Aryanti *et al.*, 2016). Metode ini menggunakan pelarut etanol (*ethyl alcohol*) 96 % dan mengukur absorbansi (A) larutan klorofil pada panjang gelombang (λ) = 645 dan 663 nm. Konsentrasi klorofil total dihitung dengan metode Wintermans dan De Mots dalam (Ajiningrum, 2018) menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Klorofil Total} = 20,31 A_{645 \text{ nm}} + 8,05 A_{663 \text{ nm}} \text{ (mg/L)}$$

Pengukuran yang diterapkan adalah penggunaan *color reader* untuk mengukur sistem warna absolut L^* , a^* , dan b^* . Nilai L^* mencerminkan perubahan kecerahan atau *lightness*, dengan rentang nilai antara 0 (hitam) hingga 100 (putih). Nilai a^* mengindikasikan warna kromatik yang merupakan campuran merah-hijau, dengan nilai $+a^*$ berkisar antara 0 hingga 100 untuk warna merah, dan nilai $-a^*$ berkisar antara 0 hingga -80 untuk warna hijau. Sementara itu, nilai b^* menggambarkan warna kromatik yang merupakan campuran biru-kuning, dengan nilai $+b^*$ antara 0 hingga +70 untuk warna biru dan nilai $-b^*$ antara 0 hingga -70 untuk warna kuning. Chroma atau Saturation merupakan tingkat intensitas suatu warna yang menentukan kemurniannya, yang menyatakan apakah warna tersebut tampak pudar atau keabu-abuan (*grayish*) atau lebih dominan dan murni. Berikut merupakan perhitungan Chroma dan Hue yang mengacu pada (McLellan' *et al.*, 1994):

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

$$^{\circ}\text{Hue} = 180 + \text{ArcTan} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \text{ (jika } a^* \text{ negatif dan } b^* \text{ positif)}$$

Variabel yang Diamati

Analisis respon diimplementasikan untuk mengeksplorasi hubungan antar variabel, yaitu waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap rendemen, chroma, dan klorofil total.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Respon

Pada proses optimasi ekstrak kasar klorofil pakcoy, faktor yang digunakan yaitu waktu ekstraksi (menit) dan volume pelarut (ml). Kedua faktor tersebut diinput dalam aplikasi *Design Expert* 13, lalu diperoleh 13 perlakuan kondisi proses ekstraksi pembuatan ekstrak kasar klorofil pakcoy. Setiap perlakuan diulang sebanyak dua kali dan setiap perlakuan dilakukan analisis respon berupa respon berupa klorofil total (mg/L) dan warna ($^{\circ}$ Hue). Hasil analisis respon yang diperoleh diinput pada aplikasi *Design Expert* 13 untuk mengetahui kondisi optimum pembuatan ekstrak kasar klorofil pakcoy. Data analisis respon klorofil total dan warna hasil kombinasi faktor waktu ekstraksi dan volume pelarut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Respon perlakuan pada ekstrak kasar pakcoy

Perlakuan	Waktu (menit)	Volume (mL)	Rendemen (%)	Chroma	Klorofil Total (mg/L)
1	0.586	150	76,08	11,779	4,033
2	1	100	72,40	12,233	3,840
3	1	200	80,29	10,327	4,387
4	2	79.29	69,54	13,653	3,889
5	2	150	86,47	13,346	5,015
6	2	150	90,06	12,318	4,898
7	2	150	87,72	12,134	5,047
8	2	150	88,83	12,697	4,730
9	2	150	85,67	13,584	4,613
10	2	220.7	89,60	9,405	5,134
11	3	100	70,41	11,863	2,778
12	3	200	80,84	10,965	3,104
13	3.41	150	73,17	9,528	2,145

Analisis respon diimplementasikan untuk mengeksplorasi hubungan antar variabel, yaitu waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap rendemen, chroma, dan klorofil total. Hasil rancangan *central composite design* (CCD) dari masing-masing respon dianalisis untuk menentukan model statistik yang akan digunakan.

Rendemen

Salah satu metrik utama yang digunakan untuk menilai kualitas ekstrak adalah rendemen. Berat bahan yang diekstrak dibagi dengan berat awal bahan baku dikenal sebagai rendemen (simplisia) dan dinyatakan dalam presentase (%) (Bani *et al.*, 2023). Tujuan dari pengukuran rendemen adalah untuk mengetahui seberapa efisien suatu proses produksi dalam menghasilkan produk. Melalui rendemen, dapat dievaluasi seberapa besar bagian dari bahan awal yang berhasil diolah menjadi produk akhir yang diinginkan. Rendemen diperoleh dengan membandingkan berat ekstrak kasar pakcoy sebelum diekstraksi menggunakan *microwave* dengan berat ekstrak kasar pakcoy setelah penyaringan. Hasil respon menunjukkan bahwa data nilai rendemen tertinggi yaitu 90,06% diperoleh dari perlakuan dengan waktu ekstraksi selama 2 menit dan volume pelarut sebesar 150 mL. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan aplikasi *Design Expert* 13 untuk diperoleh hasil respon yang optimum. Hasil olah data *software Design Expert* 13 menunjukkan bahwa model yang terpilih adalah model *quadratic*. Analisis *model summary statistic* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Model summary statistic* respon rendemen

Source	Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	Predicted R ²	PRESS	
Linear	6.64	0.3852	0.2622	0.0036	714.86	
2FI	6.99	0.3874	0.1832	-0.4696	1054.38	
Quadratic	2.02	0.9603	0.9320	0.8143	133.21	Suggested
Cubic	1.73	0.9792	0.9500	0.7520	177.90	Aliased

Standar deviasi pada model *quadratic* sebesar 2.02, artinya model tersebut memiliki tingkat keragaman data yang rendah. Nilai R² yang didapatkan yaitu 0,9603 atau 96,3%, dimana hasil tersebut dipengaruhi oleh faktor waktu ekstraksi dan volume pelarut. Sedangkan sisanya sebesar 3,97% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Nilai *adjusted* R² sebesar 0,9320 nilai ini berfungsi untuk memperoleh nilai signifikansi yang tepat, dimana faktor waktu ekstraksi dan volume pelarut memiliki pengaruh terhadap respon rendemen yaitu sebesar 93,20%. Sedangkan nilai *predicted* R² yang diperoleh yaitu sebesar 0,8143 atau 81,43% yang menunjukkan korelasi dan data respon rendemen pada model. Artinya, keduanya memiliki selisih nilai <0,2 yang menunjukkan bahwa hasil tersebut rasional. Nilai PRESS yang diperoleh sebesar 133,21 yang menunjukkan tingkat kesalahan pada model. Model dipilih berdasarkan standar deviasi terkecil, nilai *R-Squared* yang mendekati 1, *Adjusted* R² dan *Predicted* R² yang paling tinggi, serta nilai *Prediction Error Sum of Squares* (PRESS) yang paling rendah (Perdani *et al.*, 2020). Data hasil *Analysis of Varians* (ANOVA) model *quadratic* respon rendemen menunjukkan bahwa nilai *p-value* sebesar <0,0001 atau kurang dari 0,05 dengan keterangan signifikan. Hasil analisis ragam (ANOVA) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. ANOVA *for quadratic model* respon rendemen

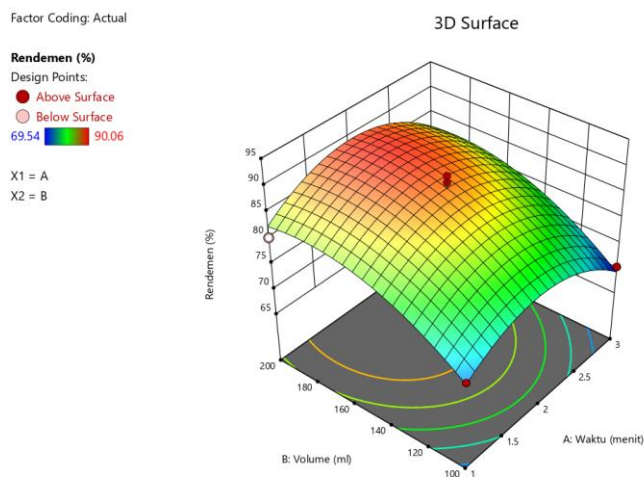
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	688.98	5	137.80	33.89	< 0.0001	significant
A-Waktu	3.86	1	3.86	0.9488	0.3625	
B-Volume	272.48	1	272.48	67.02	< 0.0001	
AB	1.61	1	1.61	0.3967	0.5488	
A ²	325.52	1	325.52	80.06	< 0.0001	
B ²	132.73	1	132.73	32.65	0.0007	
Residual	28.46	7	4.07			
Lack of Fit	15.99	3	5.33	1.71	0.3020	not significant
Pure Error	12.47	4	3.12			
Cor Total	717.44	12				

Nilai *lack of fit* yaitu 0,3020 atau lebih dari 5%, yang artinya model telah sesuai dengan rancangan. Nilai *lack of fit* harus lebih dari 5% dengan keterangan *not significant*, yang mengindikasikan kesesuaian model terhadap rancangan prog yang digunakan. Berdasarkan kedua nilai yang telah diperoleh, diketahui bahwa kombinasi antara faktor waktu ekstraksi dan volume pelarut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon rendemen ekstrak kasar pakcoy. Berikut merupakan persamaan polinomial model *quadratic* dari respon Y1 (rendemen) yang dipengaruhi oleh waktu ekstraksi (A) dan volume pelarut (B) sebagai berikut:

$$Y1 = 87.75 - 0.6944A + 5.84B + 0.6350AB - 6.84A^2 - 4.37B^2$$

Pada persamaan di atas diketahui bahwa Y1 = rendemen; 87,75 = konstanta; -0,69449* A dan +5,84* B = koefisien linear; +0,6350* AB = koefisien interaksi; -6,84 *A² dan -4,37 * B² = koefisien kuadrat. Koefisien linier waktu ekstraksi (A) bernilai negatif yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan respon rendemen seiring dengan bertambahnya waktu ekstraksi. Hal ini berbanding terbalik dengan koefisien linear volume pelarut yang bernilai positif, yaitu sebesar +5,84. Setiap

kenaikan volume pelarut sebesar satu unit, maka akan menaikkan respon rendemen sebesar 5,84. Koefisien interaksi A dan B bernilai positif (+0,6350) yang mengindikasikan bahwa apabila diberikan penambahan waktu ekstraksi dan volume pelarut secara bersamaan, dapat menaikkan respon rendemen sebesar 0,6350. Koefisien kuadratik yang bernilai negatif pada kedua variabel ($-6.84A^2$ dan $-4.37B^2$) menunjukkan bahwa hubungan antara variabel dan respon membentuk kurva parabola terbalik atau berbentuk lonceng ($\cap$). Fenomena ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai variabel A dan B akan meningkatkan respon Y1 hingga mencapai titik optimal tertentu, namun setelah melewati titik tersebut, peningkatan lebih lanjut justru akan menurunkan nilai respon. Besarnya koefisien kuadratik A (-6.84) yang lebih besar dibandingkan koefisien kuadratik B (-4.37) menunjukkan bahwa efek kuadratik variabel A lebih kuat dalam mempengaruhi respon Y1. Perubahan nilai variabel waktu ekstraksi (A) akan memberikan dampak yang lebih signifikan terhadap kelengkungan kurva respon dibandingkan dengan perubahan nilai variabel volume pelarut (B). Grafik berikut menunjukkan bagaimana waktu ekstraksi dan volume pelarut memengaruhi respon rendemen ekstrak kasar pakcoy dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. 3D *surface* interaksi variabel waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap respon rendemen ekstrak kasar pakcoy

Pada Gambar 2 menunjukkan respon terbaik karena respon yield ekstrak pakcoy dipengaruhi oleh interaksi antara waktu ekstraksi dan volume pelarut. Respon hasil akan meningkat seiring dengan volume pelarut yang diinjeksikan. Penambahan volume dapat memperlambat penguapan pelarut dari ekstrak. Penelitian yang dilakukan oleh (Erliyanti dan Elsa, 2017) menunjukkan bahwa peningkatan volume pelarut berbanding lurus dengan persentase rendemen yang dihasilkan. Kecepatan penguapan menurun seiring bertambahnya volume pelarut akibat intensitas energi termal per satuan volume yang mengecil, penurunan perbandingan area permukaan dengan volume total yang menghambat perpindahan massa, serta meningkatnya resistensi difusi dalam larutan karena molekul pelarut memerlukan jarak perjalanan yang lebih jauh melalui ketebalan medium yang bertambah untuk sampai ke permukaan. Ketika volume pelarut meningkat, hasil rendemen yang terekstrak juga bertambah. Hal ini terjadi karena partikel-partikel dapat terdistribusi lebih merata dalam pelarut yang lebih banyak. Distribusi yang lebih merata mengakibatkan area kontak antara pelarut dan bahan yang diekstrak menjadi lebih luas (Indriati *et al.*, 2020). Pemilihan waktu ekstraksi yang sesuai akan menghasilkan senyawa dalam kondisi optimal. Penguapan dan hidrolisis ekstrak yang berlebihan terjadi apabila periode ekstraksi diperpanjang melebihi batas ideal. Waktu ekstraksi yang terlalu

singkat dapat menurunkan efisiensi proses karena pelarut belum memiliki kesempatan yang cukup untuk menembus matriks bahan dan melarutkan senyawa target secara maksimal (Yuliantari *et al.*, 2017).

Chroma

Warna merupakan persepsi visual yang dihasilkan dari interaksi cahaya dengan objek. Setiap warna memiliki dimensi tersendiri, salah satunya adalah chroma. Chroma menggambarkan tingkat intensitas warna yang dimiliki oleh suatu produk. Chroma berperan penting dalam menentukan kualitas visual suatu produk bahan pangan. Chroma pada ekstrak daun mencerminkan tingkat kejenuhan warna hijau yang dihasilkan oleh kandungan klorofil. Nilai chroma yang tinggi menunjukkan warna hijau yang lebih jenuh, mengindikasikan bahwa molekul klorofil masih berada dalam keadaan utuh. Sebaliknya, penurunan nilai chroma dapat menandakan terjadinya degradasi klorofil menjadi senyawa turunan seperti feofitin, menyebabkan warna hijau menjadi lebih kusam atau kecoklatan. Pengukuran chroma dapat digunakan sebagai parameter visual yang merefleksikan kestabilan dan kualitas pigmen klorofil dalam sampel. Respon chroma yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan aplikasi *Design Expert 13*. Berikut merupakan *model summary statistics* dari chroma ekstrak kasar pakcoy, dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. *Model summary statistic* respon chroma

Source	Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	Predicted R ²	PRESS	
Linear	1.16	0.4462	0.3354	0.0528	22.86	
2FI	1.21	0.4567	0.2756	-0.2505	30.18	
Quadratic	0.8018	0.8135	0.6803	0.0412	23.14	Suggested
Cubic	0.5880	0.9284	0.8281	0.5496	10.87	Aliased

Kriteria berdasarkan *Model Summary Statistics* menunjukkan bahwa model yang terpilih untuk menganalisis data adalah model *quadratic*. Pemilihan model didasarkan pada nilai standar deviasi dan *Prediction Residuals Error Sum of Square* (PRESS) dengan nilai terkecil. Nilai PRESS model *linear* adalah 23,14. PRESS atau *Predicted Error Sum of Square* menunjukkan tingkat kesalahan data. Penyebaran data dari nilai rata-rata diukur dengan menggunakan deviasi standar. Volume pelarut dan waktu ekstraksi adalah dua faktor yang secara signifikan memengaruhi respons Chroma, dengan nilai R² sebesar 0,8135. Hal ini mengindikasikan bahwa 81,35% variasi dalam respon Chroma dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut. Nilai *adjusted* R² model tersebut yaitu sebesar 0,6803 atau 68,03%. Model *quadratic* selanjutnya dianalisis ragam (ANOVA) untuk mengetahui interaksi variabel bebas berupa waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap variabel terikat yaitu warna. Hasil analisis ragam (ANOVA) dapat dilihat pada Tabel 7.

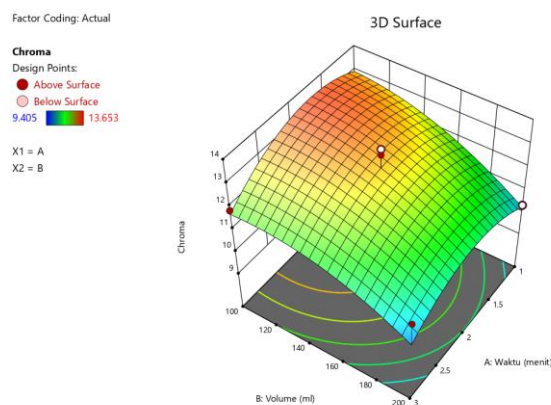
Tabel 7. *ANOVA for quadratic model* respon chroma

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	19.63	5	3.93	6.11	0.0172	significant
A-Waktu	1.06	1	1.06	1.65	0.2395	
B-Volume	9.71	1	9.71	15.10	0.0060	
AB	0.2540	1	0.2540	0.3951	0.5496	
A ²	7.20	1	7.20	11.20	0.0123	
B ²	2.34	1	2.34	3.63	0.0983	
Residual	4.50	7	0.6430			
Lack of Fit	2.90	3	0.9676	2.42	0.2062	not significant
Pure Error	1.60	4	0.3995			
Cor Total	24.13	12				

Hasil analisis ragam ANOVA menunjukkan bahwa model *quadratic* signifikan dengan nilai *p-value* sebesar <0,0172 (kurang dari 5%), artinya model sesuai digunakan untuk melakukan analisis suatu masalah yang dikaji. *Lack of fit* menunjukkan nilai *p-value* sebesar 0,2062 dengan keterangan *not significant*. Uji *lack of fit* digunakan untuk menilai sejauh mana model yang dipilih mampu merepresentasikan variasi dalam data eksperimen di sekitar model (Fathur *et al.*, 2018). Berikut merupakan persamaan polinomial model *quadratic* dari respon Y2 (Chroma) yang dipengaruhi oleh waktu ekstraksi (A) dan volume pelarut (B) sebagai berikut:

$$Y2 = 12.82 - 0.3644A - 1.10B + 0.2520AB - 1.02A^2 - 0.5795B^2$$

Koefisien linear waktu ekstraksi (A) dan volume pelarut (B) bernilai negatif. Setiap kenaikan waktu ekstraksi (A) sebesar satu unit, akan menurunkan respon Y2 sebesar 0,3644 unit, hal ini berlaku pula untuk efek linear B. Koefisien interaksi menunjukkan nilai positif (+0,2520), artinya jika A dan B naik bersama-sama, ada sedikit peningkatan dalam Y2 yang mengurangi efek negatif dari masing-masing variabel. Pengaruh kuadrat A (-1.02) lebih besar dibandingkan B (-0.5795), menunjukkan bahwa A memiliki efek non-linear lebih kuat dibandingkan B. Tanda negatif (-) pada variabel kuadrat (A² dan B²) mengindikasikan bahwa kurva parabola yang terbentuk mengarah ke sumbu Y negatif atau terbuka ke bawah. Dengan demikian, pola kuadrat yang dihasilkan menunjukkan adanya titik optimum pada grafik (Fathur *et al.*, 2018).



Gambar 3. 3D *surface* interaksi variabel waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap respon chroma ekstrak kasar pakcoy

Pada Gambar 3 dapat dilihat respon parameter warna melalui visual, nilai respon tersebut menunjukkan adanya perbedaan warna. Garis-garis yang tersusun dari titik-titik pada grafik *contour plot* merepresentasikan berbagai kombinasi dari kedua variabel dengan proporsi berbeda, yang menghasilkan nilai respons Chroma yang sama. Wilayah merah dan garis kontur luar mengindikasikan nilai warna yang tinggi, sedangkan wilayah biru mengindikasikan nilai warna yang rendah. Respon optimum ditunjukkan adanya diketahui korelasi pengaruh dari waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap warna ekstrak. Hal ini dikarenakan ketika volume pelarut dan waktu ekstraksi ditambah, konsentrasi klorofil dalam larutan akan menurun.

Penelitian terbaru oleh Aulia *et al.*, (2023), ditemukan bahwa penggunaan pelarut etanol, peningkatan volume pelarut etanol 96% dapat mengurangi intensitas warna ekstrak klorofil. Volume pelarut dan waktu ekstraksi secara signifikan memengaruhi respon yang diamati, dimana semakin sedikit volume pelarut dan waktu ekstraksi, maka intensitas warna akan semakin tinggi nilainya. Intensitas warna yang dihasilkan pada penelitian ini bervariasi mulai dari rentang 9,528-13,653. Chroma adalah parameter utama yang digunakan untuk menentukan tingkat kejenuhan warna pada

buah-buahan dan sayuran. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Sanguansri *et al.*, 1995), kelas mutu tersebut masuk dalam kategori sedang karena nilainya kurang dari 14. Nilai chroma tersebut dapat mengindikasikan kandungan pigmen yang tidak terlalu pekat atau adanya degradasi pigmen menjadi senyawa turunan seperti feofitin. Konsentrasi pigmen yang lebih tinggi menyebabkan penurunan tingkat kecerahan, menyebabkan warna menjadi lebih gelap dan kental, sehingga mengakibatkan peningkatan nilai a^* dan b^* (Manasika dan Simon, 2015).

Klorofil Total

Pigmen hijau yang dikandung kloroplas disebut klorofil. Klorofil hadir dalam dua jenis pada tanaman tingkat tinggi: hijau tua dan hijau muda. Baik klorofil a maupun klorofil b ditemukan pada semua tanaman hijau, dengan klorofil a membentuk sekitar 75% dari total konsentrasi klorofil. Pigmen utama dalam membran tilakoid adalah klorofil a dan b (Purba, 2017). Rasio klorofil a terhadap b umumnya sekitar 3:1, meskipun nilainya dapat bervariasi tergantung pada spesies. Perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan, kondisi pertumbuhan, serta tingkat paparan sinar matahari yang tinggi (Pareek *et al.*, 2017). Hasil respon pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai respon klorofil total tertinggi terdapat pada ekstraksi dengan perlakuan selama 2 menit dan volume pelarut 220,711 yaitu sebesar 5,134 mg/L. *Model Summary Statistics* menunjukkan bahwa model yang terpilih untuk menganalisis data adalah *quadratic*. Hasil analisis respon dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. *Model summary statistics* respon Klorofil Total

Source	Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	Predicted R ²	PRESS	
Linear	0.8272	0.3696	0.2435	-0.1201	12.16	
2FI	0.8712	0.3707	0.1609	-0.5787	17.13	
Quadratic	0.2388	0.9632	0.9370	0.8092	2.07	Suggested
Cubic	0.2398	0.9735	0.9364	0.1011	9.76	Aliased

Model dipilih berdasarkan nilai standar deviasi dan *Prediction Residuals Error Sum of Squares* (PRESS) yang paling rendah. Nilai PRESS model *quadratic* adalah 2,07. Standar deviasi model ini yaitu sebesar 0,2388 atau memiliki paling kecil dibandingkan dengan model lainnya. PRESS atau *Predicted Error Sum of Square* menunjukkan tingkat kesalahan pada model. Koefisien korelasi (R^2) dengan nilai antara 0,50-0,70 dianggap sebagai standar deviasi digunakan untuk mengukur seberapa tersebar data dari nilai rata-rata (Hanief dan Wasis, 2017). Variabel waktu ekstraksi dan volume pelarut memiliki pengaruh signifikan terhadap respon klorofil total dengan nilai R^2 sebesar 0,9632. Hal ini mengindikasikan bahwa 96,32% variasi dalam respon klorofil total dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut. *Adjusted R²* memiliki nilai sebesar 0,9370 atau 93,70%. Nilai ini didukung oleh *predicted R-squared*, yang mencapai 0,8092.

Model *quadratic* kemudian dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengevaluasi interaksi antara variabel bebas, yaitu waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap variabel terikat berupa klorofil total. Berikut merupakan hasil analisis ANOVA, dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. ANOVA *for quadratic model* respon Klorofil Total

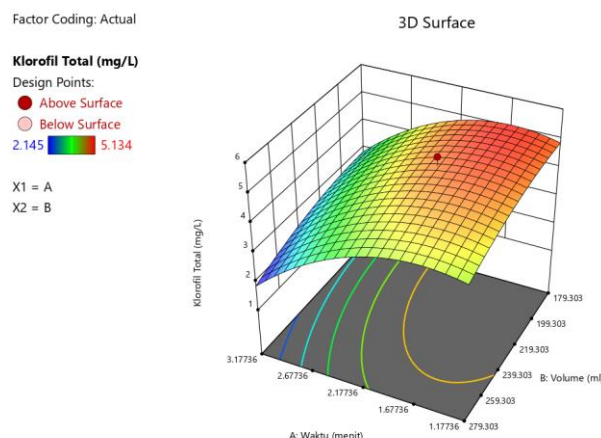
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	10.45	5	2.09	36.67	< 0.0001	significant
A-Waktu	3.14	1	3.14	55.14	0.0001	
B-Volume	0.8670	1	0.8670	15.21	0.0059	
AB	0.0122	1	0.0122	0.2142	0.6576	

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
A ²	6.33	1	6.33	111.06	< 0.0001	
B ²	0.4101	1	0.4101	7.19	0.0315	
Residual	0.3991	7	0.0570			
Lack of Fit	0.2608	3	0.0869	2.51	0.1973	not significant
Pure Error	0.1383	4	0.0346			
Cor Total	10.85	12				

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model *quadratic* signifikan dengan nilai *p-value* sebesar <0,0001 (kurang dari 5%). Nilai tersebut menunjukkan bahwa model tersebut dapat diterima, karena tidak ada bukti yang cukup untuk menolak hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa tidak ada *lack of fit* pada model. *Lack of fit* menunjukkan nilai *p-value* sebesar 0,1973 dengan keterangan tidak signifikan. Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan mengindikasikan bahwa model mampu menjelaskan variasi dalam data dengan baik. Hal ini penting dalam pengembangan model regresi atau analisis permukaan respon karena kesesuaian antara data dan model diperlukan untuk memastikan bahwa prediksi yang dihasilkan adalah valid dan dapat diandalkan. Berikut merupakan persamaan polinomial model *quadratic* dari respon Y3 (klorofil total) yang dipengaruhi oleh waktu ekstraksi (A) dan volume pelarut (B) sebagai berikut:

$$Y_3 = 4.86 - 0.6269A + 0.3292B - 0.0552AB - 0.9541A^2 - 0.2428B^2$$

Berdasarkan persamaan tersebut, diketahui bahwa efek linear mengindikasikan setiap kenaikan linear waktu ekstraksi sebesar satu unit, respon klorofil total akan menurun sebesar 0,6269 unit. Sedangkan setiap kenaikan volume pelarut (B) sebesar satu unit, akan meningkatkan respon klorofil total sebesar 0,3292 unit. Efek linear waktu ekstraksi (A) lebih berpengaruh dibandingkan dengan B, karena nilai koefisiennya lebih besar ($0,6269 > 0,3292$). Efek interaksi menunjukkan bahwa jika A dan B naik secara bersamaan, nilai respon klorofil akan sedikit menurun. Efek kuadratik menunjukkan bahwa hubungan dua variabel membentuk kurva parabola terbalik ($\cap$), artinya ada nilai optimum sebelum terjadi penurunan respon. Efek kuadratik waktu ekstraksi (A) lebih berpengaruh dibandingkan volume pelarut (B), baik pada efek linear maupun kuadratik. Berikut ini merupakan grafik pengaruh waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap respon klorofil total daun pakcoy dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. 3D *surface* interaksi variabel waktu ekstraksi dan volume pelarut terhadap respon klorofil total ekstrak kasar pakcoy

Gambar 4 menunjukkan adanya interaksi antara variabel waktu ekstraksi dan volume pelarut

terhadap klorofil total. Interaksi dari kedua variabel tersebut dapat diketahui dari adanya perbedaan warna yang terbentuk. Daerah warna merah menunjukkan respon nilai klorofil total yang paling tinggi, warna kuning artinya respon nilai rata-rata, dan warna biru menunjukkan respon nilai klorofil yang paling rendah (Purba, 2017). Titik optimal pada kontur plot ditunjukkan dengan warna merah pada node, mengindikasikan respons yang meningkat apabila diberikan penambahan volume pelarut. Penelitian selanjutnya mengungkapkan bahwa penambahan volume pelarut dan durasi ekstraksi secara signifikan berdampak pada respon klorofil secara keseluruhan (Kusuma *et al.*, 2019). Respon klorofil total akan naik secara proporsional dengan volume pelarut secara kuadratik dan mengalami penurunan apabila diberikan penambahan waktu ekstraksi. Volume pelarut yang lebih besar juga memungkinkan kontak dan distribusi pelarut pada permukaan bahan menjadi lebih merata, sehingga pelarutan pigmen berlangsung lebih efektif hingga tercapai titik jenuh, yang mengakibatkan penambahan volume lebih lanjut tidak memberikan peningkatan signifikan (Cacace dan G Mazza, 2003).

Pigmen klorofil memiliki sifat yang sensitif terhadap berbagai faktor lingkungan seperti cahaya, suhu, pH, dan jenis pelarut yang digunakan (Vila *et al.*, 2015). Perubahan dalam faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi stabilitas dan konsentrasi klorofil dalam sampel. Semakin lama waktu kontak antara bahan dengan pemanas, maka klorofil akan menjadi rusak. Feofinitasi, epimerisasi, pirolisis, hidrosilasi, oksidasi, dan fotooksidasi merupakan beberapa proses degradasi kimia utama yang memengaruhi klorofil (Aryanti, N. *et al.*, 2016). Klorofil a mengalami perubahan menjadi feofitin a sekitar 5–6 kali lebih cepat dibandingkan klorofil b yang berubah menjadi feofitin b. Selain itu, pelepasan magnesium dari klorofil a berlangsung 9 kali lebih cepat dibandingkan dengan klorofil b, sehingga mempercepat proses pembentukan feofitin (Aulia *et al.*, 2023).

Optimasi dan Verifikasi Data Kondisi Optimum Ekstrak Pakcoy

Berdasarkan hasil olah data untuk solusi perlakuan optimal ekstrak pakcoy diperoleh nilai *desirability* sebesar 0,876. Nilai *desirability* berada dalam rentang angka 0-1, apabila nilai mendekati 1 menunjukkan respon yang paling optimal. Perlakuan optimum dengan nilai *desirability* tertinggi disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Perlakuan optimum ekstrak kasar klorofil total pakcoy

No	Waktu ekstraksi	Volume pelarut	Rendemen	Chroma	Klorofil Total	<i>Desirability</i>	
1	1,82	154,3	88,119	12,745	4,970	0,876	<i>Selected</i>

Solusi yang diperoleh dari aplikasi *Design Expert* adalah ekstraksi dengan waktu selama 1,82 menit dan volume pelarut sebesar 154,3 ml, menghasilkan respon rendemen sebesar 88,115%, nilai Chroma 12,746, dan klorofil total 4,970 mg/L. Selanjutnya, dilakukan verifikasi kondisi optimum ekstrak pakcoy. Verifikasi data dilakukan dengan membandingkan hasil perlakuan terpilih yang didasarkan model dan optimalisasi seluruh respon, tujuannya untuk menguji keakuratan penerapan empiris. Semakin mendekati nilai 1, nilai *desirability* mencerminkan bahwa prog memiliki kemampuan yang lebih optimal dalam menghasilkan produk sesuai dengan yang diharapkan (Ramadhani *et al.*, 2017). Berikut merupakan perbandingan nilai aktual dengan nilai prediksi ekstrak pakcoy, dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan nilai aktual dengan nilai prediksi terpilih

Solution	Predicted	Verification	95% CI low	95% CI high	95% PI low	95% PI high
Klorofil Total	4.96956	5.349	4.71878	5.22034	4.49808	5.44103
Chroma	12.7455	11.2965	11.9034	13.5877	11.1623	14.3288
Rendemen	88.1154	85.5325	85.9977	90.2331	84.134	92.0969

Pada Tabel 9, menunjukkan bahwa nilai respon berada di dalam rentang batas bawah dan batas atas nilai CI 95% dan PI 95%. *Confident interval* (CI) adalah rentang yang memprediksi nilai rata-rata dari pengukuran berikutnya. Sementara itu, *prediction interval* (PI) adalah rentang yang memperkirakan hasil pengukuran respons berikutnya dalam kondisi yang sama (Engelen, 2015). Hasil verifikasi data menunjukkan bahwa kondisi proses optimal untuk ekstraksi dengan waktu 1,82 menit dan volume pelarut 154,3 mL sesuai dengan nilai prediksi yang direkomendasikan oleh aplikasi, karena data verifikasi berada dalam rentang 95% PI *low* dan 95% PI *high*. Interval prediksi 95% menunjukkan bahwa 95% dari nilai verifikasi berada dalam kisaran tersebut, sedangkan 5% merupakan kesalahan yang berada di luar batas tersebut. Kecocokan model dengan data eksperimen tergolong baik jika selisih antara nilai prediksi dan hasil penelitian tidak lebih dari 5%. Perbedaan nilai yang minimal ini dapat diabaikan dan solusi variabel bebas yang disarankan oleh *Design Expert* bisa diterima (Hiovenaguna dan Simon, 2017).

Analisis Fisikokimia

Analisis fisikokimia ekstrak kasar klorofil pakcoy dilakukan pada kondisi optimum. Pengukuran yang dilakukan meliputi nilai °Hue, TPT, dan pH. Tujuannya menentukan stabilitas terhadap perubahan lingkungan, memastikan keamanan, dan mengetahui potensi aplikasi ekstrak klorofil pakcoy. Hasil dari analisis ini dapat menjadi dasar dalam mengembangkan berbagai aplikasi pemanfaatan ekstrak klorofil pakcoy, seperti dalam industri pangan atau farmasi.

Hue merupakan sudut dengan rentang nilai antara 0 hingga 360 derajat (Rulaningtyas *et al.*, 2015). Hue (H) mempunyai warna dasar dan nilainya ditentukan berdasarkan gelombang cahaya yang paling dominan dalam spektrum warna. Nilai °Hue menunjukkan panjang gelombang dari warna yang paling dominan. Nilai ini diperoleh dari parameter a^* dan b^* (Widyasanti *et al.*, 2018). Hasil pengukuran warna ditampilkan dalam sistem CIE dengan parameter L (tingkat kecerahan), a^* (spektrum merah-hijau), b^* (spektrum biru-kuning). Nilai Hue disesuaikan dengan rentang warna dalam kromatisitas (skala Hutching) dan dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai jenis warna ekstrak. Pada penelitian ini, respon nilai °Hue pada kondisi optimum yaitu sebesar hingga 143,802 sehingga ekstrak tersebut tergolong dalam kisaran warna kromatisitas *yellow green* (YG) (Sari *et al.*, 2018).

Untuk mengukur total padatan terlarut (TPT), sebuah instrumen digunakan *hand refraktometer*. Pelat ditetaskan dengan ekstrak klorofil Pakcoy, dan ketika instrumen diarahkan ke sumber cahaya, hasilnya dalam °Brix akan terbaca. Gula kompleks dan sederhana, asam organik, berbagai warna, vitamin yang larut dalam air, dan protein adalah beberapa zat yang dinilai sebagai padatan terlarut total (Pendit *et al.*, 2016). Hasil pengukuran TPT pada ekstrak kasar pakcoy perlakuan optimum diperoleh dengan hasil total sebesar 1,253 °Brix. Hasil TPT yang diperoleh tergolong rendah, sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap warna hijau pada ekstrak pakcoy. Kandungan total padatan terlarut dalam ekstrak akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu ekstraksi, karena proses ini memberikan kesempatan lebih lama bagi komponen yang larut untuk berpindah ke dalam pelarut. Selain itu, jumlah pelarut juga mempengaruhi nilai total padatan terlarut. Apabila volume pelarut yang digunakan semakin banyak, maka konsentrasi total padatan terlarut dalam ekstrak akan berkurang. Fenomena ini terjadi akibat dari pengenceran, meskipun jumlah total padatan tetap, tetapi distribusinya terjadi dalam volume pelarut yang lebih besar, sehingga menghasilkan konsentrasi yang lebih rendah (Zain *et al.*, 2021). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Widyasanti *et al.*, 2022), yang menyatakan bahwa perlakuan ekstraksi terbaik diperoleh menggunakan rasio bahan baku : pelarut (1 : 40) (g/mL) selama 4 menit, yaitu menghasilkan nilai total padatan terlarut sebesar 1,10°Brix.

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Proses ini diawali dengan tahap kalibrasi menggunakan tiga larutan buffer standar dengan pH 4, 7, dan 9. pH klorofil dipengaruhi oleh pH larutan pengekstrak, dimana semakin tinggi pH larutan pengekstrak, semakin tinggi pula pH ekstrak klorofil. Klorofil cenderung lebih stabil dalam lingkungan karena fakta bahwa suhu tinggi dan keadaan asam dapat mempercepat penguraianya menjadi feofitin, dengan suhu rendah dan pH tinggi. Oleh karena itu, kondisi basa sering digunakan untuk menghambat proses degradasi klorofil (Singh dan Ramaswamy, 2015). Hasil uji pH ekstrak kasar pakcoy yaitu sebesar 7,05. Perubahan pH pelarut mempengaruhi warna hasil ekstrak daun pakcoy, karena setiap warna menyerap cahaya dengan panjang gelombang dan warna yang berbeda. Ketika dikaitkan larutan ekstrak dengan pH yang lebih tinggi menunjukkan intensitas warna hijau yang lebih unggul dan stabilitas dalam hal intensitas warna (Riansyah *et al.*, 2021). Penelitian terdahulu oleh (Wahyuni dan Pirim, 2022) bahwa hasil analisis serapan panjang gelombang ekstrak daun salam menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa peningkatan pH dapat mencegah pembentukan feofitin yang berpengaruh pada perubahan warna ekstrak daun salam.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Optimasi ekstrak pakcoy menggunakan *Response Surface Methodology Central Composite Design* menghasilkan solusi kondisi optimum dari aplikasi *Design Expert* yaitu ekstraksi dengan volume pelarut etanol sebanyak 154,3 mL selama 1,82 menit, dengan nilai *desirability* sebesar 0,876. Karakteristik ekstrak yang diperoleh berupa rendemen sebesar 88.119%, chroma sebesar 12.745, dan klorofil total sebesar 4,970 mg/L. Pada verifikasi kondisi optimum ekstrak pakcoy, diperoleh rata-rata klorofil total sebesar 5,349 mg/L, chroma sebesar 11,296, dan rendemen sebesar 85,53%. Nilai rata-rata verifikasi tersebut di dalam rentang batas atas dan bawah yang ditetapkan, menunjukkan bahwa kondisi proses yang optimal telah tercapai. Hasil pengujian fisikokimia pada parameter °Hue sebesar 143,802, TPT diperoleh hasil sebesar 1,253 °Brix dan parameter pH sebesar 7,05. Kondisi tersebut menandakan bahwa karakteristik dari ekstrak pakcoy memiliki kondisi normal sesuai sifat alami sayuran hijau segar dan tidak menunjukkan keasaman yang berlebih.

Saran

Saran yang penulis berikan yaitu diperlukan adanya penelitian lanjutan mengenai pengaplikasian pewarna alami berbahan dasar ekstrak kasar klorofil pakcoy apabila digunakan sebagai bahan pangan dengan fokus pada tingkat keamanan dan toksisitas ekstrak untuk memastikan kelayakan dari produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, I., Elvi Rusmiyanto P. W., dan Masnur Turnip. 2023. Kandungan serat kasar, klorofil a, b dan total sawi dayak, caisim dan pakcoy di kota pontianak kalimantan barat. *Protobiont*, 12(1), 9–13.
- Ajiningrum, P. S. 2018. Kadar total pigmen klorofil tanaman *avicennia marina* pada tingkat perkembangan daun yang berbeda. *Stigma*, 11(2), 52–59.
- Aulia, A., Agam Muarif, Meriatna, Lukman Hakim, dan Azhari. 2023. Pengaruh konsentrasi pelarut etanol dan waktu penyimpanan pada pembuatan ekstrak klorofil dari daun pepaya (*Carica Papaya L.*). *Chemical Engineering Journal Storage*, 3(2), 208–215.

- Bani, A. A., Asni Amin, Abdul Mun'im, dan Maksum Radji. 2023. Rasio nilai rendamen dan lama ekstraksi maserat etanol daging buah burahol (*Stelecocharpus Burahol*) Berdasarkan Cara Preparasi Simplisia. *Makassar Natural Product Journal*, 1(3), 2023–2176. <https://Journal.Farmasi.Umi.Ac.Id/Index.Php/Mnpj>
- Cacace, J. E., and G Mazza. 2003. Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. *Journal Of Food Engineering*, 59(4), 379–389.
- Delazar, A., Nahar, L., Hamedeyazdan, S., and Sarker, S. D. 2012. *Microwave-assisted extraction in natural products isolation*. Humana Press. (Sarker dan Nahar, Eds.; 3rd Ed., Vol. 864). Humana Press (Springer). https://doi.org/10.1007/978-1-61779-624-1_5
- Engelen, A. 2015. Engelen A optimasi proses dan formula pada karakteristik kelengketan mi sagu (process and formula optimization on stickiness characterization Of Sago Noodle). *Jtech*, 1(1), 40–47.
- Enggiwanto, S., Fusfita Istiqomah, Kasro Daniati, Occa Roanisca, dan Robby Gus Mahardika. 2018. ekstraksi daun pelawan (tristaniopsis merguensis) sebagai antioksidan menggunakan *Microwave Assisted Extraction* (MAE). *Indonesian Journal Of Pure And Applied Chemistry*, 1(2), 50–54.
- Erliyanti, N. K., dan Elsa Rosyidah. 2017. Pengaruh daya microwave terhadap yield pada ekstraksi minyak atsiri dari bunga kamboja (*Plumeria Alba*) Menggunakan Metode *Microwave Hydrodistillation*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(3), 175–178.
- Fathur, A., Yusuf Hendrawan, Shinta Rosalia Dewi, dan Sandra Malin Sutan. 2018. Optimasi nilai rendemen dalam pembuatan *virgin coconut oil* (VCO) menggunakan pemanasan suhu rendah dan kecepatan sentrifugasi dengan response surface methodology (RSM). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 6(3), 218–228.
- Georgiopoulou, I., Tzima, S., Louli, V., and Magoulas, K. 2023. Process optimization of microwave-assisted extraction of chlorophyll, carotenoid and phenolic compounds from chlorella vulgaris and comparison with conventional and supercritical fluid extraction. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/App13042740>
- Hanief, Y. N., dan Wasis H. 2017. *Statistik Pendidikan* (1st Ed.). Cv Budi Utama. <https://www.researchgate.net/publication/324438422>
- Hanif, A., Widyasanti, A., dan Putri, S. H. 2021. Optimization of microwave assisted extraction process on oleoresin of kuweni mango peels extracts using surface response methodology. *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 15(4), 1084–1098. <https://doi.org/10.21107/Agrointek.V15i4.10175>
- Haryani, F., Hakim, A., dan Hanifa, N. I. 2021. Perbandingan pelarut etanol 96% dan aseton pada ekstraksi dan isolasi kurkuminoid dari rimpang kunyit. *Jurnal Ilmu Kefarmasian*, 2(2), 112–117.
- Hidayati, N. A., Luqman Agung Wicaksono, Sri Winarti, dan Muhammad Alfid Kurnianto. 2024. kondisi daya, waktu dan rasio bahan-pelarut terbaik pada ekstraksi senyawa fenolik daun asam jawa menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). *Journal Of Tropical Agrifood*, 6(2), 108–113. <https://doi.org/10.35941/Jtaf.6.2.2024.16635.108-115>
- Hiovenaguna, M. B., dan Simon Bambang Widjanarko. 2017. Optimasi proses pembuatan brem padat dengan penambahan sari buah jeruk. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 5(3), 6–14.
- Indriati, S., Amri, dan Fajriyati Mas'ud. 2020. Pemanfaatan bekatul padi sebagai sumber minyak nabati. *H Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 65–70.
- Koesnadi, E. A., I Nengah Kencana Putra, dan A. A. I. Sri Wiadnyani. 2021. Itepa: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan, Pengaruh waktu ekstraksi terhadap aktivitas antioksidan ekstrak daun rambusa (*passiflora foetida* l.) menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). *Itepa: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 10(3), 2021–2357.

- Kusuma, H. A. W., Kumalaningsih, S., dan Pranowo, D. 2019. Optimasi suhu dan konsentrasi maltodekstrin pada proses pembuatan serbuk lobak dengan metode *foam mat drying*. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 8(3), 171–182. <https://doi.org/10.21776/Ub.Industria.2019.008.03.2>
- Latifah, F., dan Muhammad Nuh. 2024. Pengaruh metode *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) dengan pelarut *natural deep eutectic solvent* (nades) ekstrak daun mangga gedong terhadap kadar total flavonoid dan aktivitas antioksidan. *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina*, 9(1), 89–96. <https://doi.org/10.36387/Jiis.V9i1.1628>
- Maksum, A., dan Mulyo, I. S. 2017. optimasi ekstraksi senyawa fenolik dari kelopak bunga rosella (*hibiscus sabdariffa*) berbantu gelombang mikro. *Agrin*, 21(2), 1410–1439.
- Manasika, A., dan Simon Bambang Widjanarko. 2015. Ekstraksi pigmen karotenoid labu kabocha menggunakan metode ultrasonik (kajian rasio bahan: pelarut dan lama ekstraksi). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 3(3), 928–938.
- McLellan, M. R., Lind, L. R., and Kime, R. W. 1994. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant hunter L,a,b data. *Journal Of Food Quality*, 18, 235–240.
- Mimi Harni, Tuty Anggraini, dan Irfan Suliansyah. 2023. Identifikasi kualitas warna buah naga (*hylocereus*) dengan ekstraksi menggunakan *Microwave-Assisted Extract* (MAE). *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 27, 104–108.
- Mukhaimin, I., Anne Nur Latifahnya, dan Ernawati Puspitasari. 2018. Penentuan kadar alkaloid total pada ekstrak bunga pepaya (*carica papaya* l) dengan metode microwave assisted extraction. *Chemical Engineering Research Articles*, 1(2), 66. <http://E-Journal.Unipma.Ac.Id/Index.Php/Cheesa>
- Nisa, G. K., Wahyunanto Agung Nugroho, dan Yusuf Hendrawan. 2014. Ekstraksi daun sirih merah (*piper crocatum*) dengan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 2(1), 1–7.
- Nita Aryanti, Ainun Nafiunisa, dan Fathia Mutiara Willis. 2016. Ekstraksi dan karakterisasi klorofil dari daun suji (*pleomele angustifolia*) sebagai pewarna pangan alami. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(4), 129–134. <https://doi.org/10.17728/Jatp.183>
- Pareek, S., Narashans Alok Sagar, Sunil Sharma, and Tripti Agarwal. 2017. Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry and human health. *Chemistry And Human Health*, 1(2), 269–280. <https://www.researchgate.net/publication/319703059>
- Pendit, P. A. C. D., Elok Zubaidah, dan Feronika Heppy Sriherfyna. 2016. Karakteristik fisik-kimia dan aktivitas antibakteri ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi L.*). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 4(1), 400–409.
- Perdani, C. G., Dodyk Pranowo, Susinggih Wijana, dan Delia Muliawati. 2020. Karakterisasi mutu ekstrak kopi hijau di jawa timur untuk meningkatkan nilai ekonominya sebagai bahan sediaan obat. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 228–240. <https://doi.org/10.21776/Ub.Industria.2020.009.03.7>
- Purba, D. W. 2017. Respon pertumbuhan dan produksi tanaman sawi pakcoy (*brassica juncea* l.) terhadap pemberian pupuk organik dofosf g-21 dan air kelapa tua. *Agrium*, 21(1), 8–19.
- Ramadhani, R. A., Dody Herdian Saputra Riyadi, Bayu Triwibowo, dan Ratna Dewi Kusumaningtyas. 2017. Review pemanfaatan design expert untuk optimasi komposisi campuran minyak nabati sebagai bahan baku sintesis biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 1(1), 11–16. www.jtkl.polinema.ac.id
- Riansyah, H., Dessy Maulidya Maharani, dan Agung Nugroho. 2021. Intensitas dan stabilitas warna ekstrak daun pandan, suji, katuk, dan kelor sebagai sumber pewarna hijau alami. *Jurnal Riset*

- Teknologi Industri*, 15(1), 103–111.
- Rulaningtyas, R., Suksmono, A. B., Mengko, T. L. R., dan Saptawati, G. A. P. 2015. Segmentasi citra berwarna dengan menggunakan metode clustering berbasis patch untuk identifikasi mycobacterium tuberculosis. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 17(1), 19–25.
- Sanguansri, L., Foster, M., Drew P., Guirguis, N., and Gould, I. 1995. Feasibility studies on processing tomato waste and dry tomato product. In *Australian Food Industry Science Centre*. Australian Food Industry Science Centre.
- Saputra, A., Febrina Arfi, dan Muammar Yulian. 2020. Analisis fitokimia dan manfaat ekstrak daun kelor (*Moringa Oleifera*). *Amina*, 2(3), 114–118.
- Sari, B. L., dan Tri Saptari Haryani. 2020. Optimasi Metode *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) untuk menentukan kadar flavonoid total alga coklat padina australis. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 37–48.
- Sari, E. K., dan Sholihatil Hidayati. 2020. Penetapan kadar klorofil dan karotenoid daun sawi (*brassica*) menggunakan metode spektrofotometri Uv-Vis. *Fullerene Journ. Of Chem*, 5(1), 49–52.
- Sari, S. I., Indah Widiastuti, dan Shanti Dwita Lestari. 2018. Fishtech-jurnal teknologi hasil perikanan pengaruh perbedaan proses fermentasi terhadap karakteristik fisik dan kimia kecap ikan sepat siam (*Trichogaster Pectoralis*). *Iwijaya (Unsri): E-Journal Fishtech – Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*, 7(1), 36–48.
- Singh, A. P., and Ramaswamy, H. S. 2015. Effect of processing conditions on quality of green beans subjected to reciprocating agitation thermal processing. *Food Research International*, 78, 424–432.
- Sumarlan, S. H., Bambang Susilo, Ary Mustofa, dan Muhammad Mu'nim. 2018. Ekstraksi senyawa antioksidan dari buah strawberry (*Fragaria X Ananassa*) dengan menggunakan metode microwave assisted extraction (kajian waktu ekstraksi dan rasio bahan dengan pelarut). In *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* (Vol. 6, Issue 1).
- Vila, M. M. D. C., Marco V. C., and Victor M. Balcão. 2015. Microencapsulation of natural anti-oxidant pigments. in *microencapsulation and microspheres for food applications* (Pp. 369–389). Elsevier Science Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800350-3.00024-8>
- Wahyuni, I. T., dan Pirim Setiarso. 2022. Alchemy : Journal of chemistry karakterisasi elektrokimia ekstrak klorofil dari daun salam (*Syzygium Polyanthum*) pada ph basa sebagai sensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Journal Of Chemistry*, 2, 41–47.
- Widyasanti, A., Agnes Klarasitadewi, dan Sarifah Nurjanah. 2022. Pengaruh rasio bahan-pelarut dan lama terhadap karakteristik fisikokimia ekstrak cair daun stevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*). 12(2), 86–95. <https://doi.org/10.31186/J.Agroind.12.2.86-95>
- Widyasanti, A., Aryadi, H., dan Rohdiana, D. 2018. Pengaruh perbedaan lama ekstraksi teh putih dengan menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 22(2), 165–174. <https://doi.org/10.25077/Jtpa.22.2.165-174.2018>
- Widyasanti, A., Tri Halimah, dan Dadan Rohdiana. 2018. Ekstraksi teh putih berbantu ultrasonik pada berbagai amplitudo. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 7(3), 111–116. <https://doi.org/10.17728/Jatp.2295>
- Winnie Winata, E. 2015. *Extraction Of Anthocyanin Mulberry (Morus Alba L.) With Ultrasonic Bath (Study Of Extraction Time And Solid:Liquid Ratio)* (Vol. 3, Issue 2).
- Yuliantari, N. W. A., I Wayan Rai Widarta, dan I Dewa Gede Mayun Permana. 2017. Pengaruh suhu dan waktu ekstraksi terhadap kandungan flavonoid dan aktivitas antioksidan daun sirsak (*annona muricata l.*) menggunakan ultrasonik. *Media Ilmiah Teknologi Pangan*, 4(1), 35–41.

Zain, Z. I., Sarifah Nurjanah, dan Bambang Nurhadi. 2021. Pengaruh jumlah bahan baku serta waktu ekstraksi terhadap karakteristik dan umur simpan ekstrak stevia cair. *Jurnal Teknotan*, 14(2), 61. <https://doi.org/10.24198/Jt.Vol14n2.5>