JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN. 2810-0824
Vol. 5 No. 3 July 2026

Hal. 121-134

Formulasi Putih Telur dan Kunyit Pada Pembuatan Susu Bubuk Kunyit Menggunakan Mixture Design

Formulation Of Egg White And Turmeric In Making Turmeric Powdered Milk Using Mixture Design

Teguh Prayitno[1], Andi Eko Wiyono[1*], Bambang Herry Purnomo[1]

[1]Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

*Email Koresponden: andi.eko85@yahoo.co.id

Received : 10 Maret 2026 | Accepted : 4 Mei 2026 | Published : 13 Mei 2026

Kata Kunci

foam mat drying, formulasi optimal, pangan fungsional, serbuk susu kunyit, s*implex lattice design*

Copyright (c) 2026 Authors Teguh Prayitno, Andi Eko Wiyono, dan Bambang Herry Purnomo

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

ABSTRAK

Serbuk susu kunyit merupakan pangan fungsional yang menggabungkan nutrisi susu dan senyawa bioaktif kunyit. Penelitian ini bertujuan mengoptimasi formulasi putih telur dan kunyit pada pembuatan serbuk susu kunyit menggunakan metode foam mat drying dengan *Simplex Lattice Design*. Formula optimum diperoleh pada putih telur 22,52% dan kunyit 3,66% dengan *desirability* 0,756. Hasilnya menunjukkan aktivitas antioksidan 67,40%, lemak 28,90%, protein 13,90%, rendemen 29,66%, kadar air 2,6%, total padatan terlarut 27°Brix, dan kecepatan larut 0,017 g/detik. Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi putih telur dan kunyit mampu meningkatkan aktivitas antioksidan, mutu fisik, dan rendemen produk.

Keywords

foam mat drying, optimal formulation, functional food, turmeric milk powder, simplex lattice design

ABSTRACT

Turmeric milk powder is a functional food that combines milk nutrients and the bioactive compounds of turmeric. This study aimed to optimize the formulation of egg white and turmeric in the production of turmeric milk powder using the foam mat drying method with a Simplex Lattice Design. The optimum formula was obtained with 22.52% egg white and 3.66% turmeric, achieving a desirability value of 0.756. The results showed antioxidant activity of 67.40%, fat 28.90%, protein 13.90%, yield 29.66%, moisture content 2.6%, total soluble solids 27°Brix, and dissolution rate of 0.017 g/s. This study demonstrated that the combination of egg white and turmeric

effectively enhanced antioxidant activity, physical quality, and product yield. .

1. PENDAHULUAN

Susu merupakan cairan yang berasal dari sapi sehat dan bersih, yang diperoleh dengan cara yang benar, serta kandungan alaminya tidak ditambah atau dikurangi sesuatu apapun (Ariani, 2018). Namun susu segar memiliki keterbatasan dalam hal daya simpan karena kandungan airnya yang tinggi sehingga mudah terkontaminasi oleh mikroorganisme. Salah satu cara untuk meningkatkan daya simpan susu adalah dengan mengolahnya menjadi susu bubuk. Proses pembuatan susu bubuk umumnya menggunakan metode pengeringan seperti *spray drying* dan *freeze drying*, tetapi metode-metode ini memiliki beberapa kelemahan seperti degradasi senyawa bioaktif akibat suhu tinggi (Babu *et al.,* 2018). Oleh karena itu metode *foam mat drying* menjadi alternatif yang lebih baik karena memungkinkan pengeringan pada suhu rendah, guna mempertahankan kandungan nutrisi serta senyawa aktif dalam susu. (Sangamithra et al., 2015). Penelitian ini memiliki kebaruan dalam penerapan metode *foam mat drying* pada pengolahan susu dengan penambahan bahan penstabil tertentu untuk menghasilkan susu bubuk dengan mutu fisik dan kandungan bioaktif yang lebih baik dibandingkan metode pengeringan konvensional seperti *spray drying* dan *freeze drying*.

Salah satu inovasi dalam produk susu bubuk adalah penambahan bahan alami yang memiliki manfaat kesehatan seperti kunyit. Kunyit (*Curcuma longa*) banyak digunakan dalam produk pangan karena kandungan kurkumin yang berperan sebagai antioksidan alami dan memberikan warna khas kuning cerah (Prasad *et al.,* 2014). Penggunaan kunyit dalam formulasi susu bubuk dipertimbangkan karena selain meningkatkan nilai fungsional produk, juga dapat berpotensi memperpanjang umur simpan melalui aktivitas antioksidannya (Rahmani *et al.,* 2018). Namun penggunaan kunyit dalam produk pangan sering menghadapi tantangan terutama terkait dengan stabilitas senyawa aktifnya selama proses pengolahan. Untuk mengatasi tersebut, perlu dilakukan formulasi yang tepat agar kualitas produk tetap optimal. Dalam metode *foam mat drying*, penambahan agen pembusa seperti putih telur sangat penting untuk membentuk busa yang stabil, mempercepat proses pengeringan, dan meningkatkan rendemen produk akhir (Sangamithra et al., 2015). Menurut Zamzami & Dewi (2023), pada Pembuatan Bubuk Kaldu Jamur Tiram konsentrasi putih telur yang baik antara 20-35%.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan formulasi putih telur dan kunyit dalam pembuatan serbuk susu kunyit menggunakan metode *foam mat drying*. Optimasi dilakukan dengan metode *Simplex Lattice Design* (SLD) untuk menentukan kombinasi terbaik berdasarkan parameter rendemen, kecepatan larut, kadar air, total padatan terlarut, serta karakteristik organoleptik produk. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan produk susu bubuk fungsional yang bernilai tambah tinggi dan memiliki manfaat kesehatan bagi masyarakat.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah adalah gelas ukur 500 ml, pipet ukur, thermometer,baskom plastik (untuk mengocok susu), loyang *stainless stell*, kertas roti, gunting, ayakan 80 *mesh*, plastik klip, lemari pendingin, *mixer, blender, food dehydrator, neraca analitik*, kertas saring, wadah (gelas plastik), pipet ukur 10 ml, spatula, cawan petri, desikator, pipet tetes, oven, *hand refarktometer, beaker glass* 500 ml, *stirer, Hot Plate Magnetic Stirrer , stopwatch*, software Microsoft Excel 2010, *Design Expert* versi 13.

Bahan yang digunakan 200 liter susu sapi segar yang diperoleh dari dari Rembangan Dairy Farm yang bertempat di Desa Kemuning Lor, Kecamatan Arjasa, Kabupaten Jember, putih telur, *maltodekstrin* 15%, dan kunyit.

2.2 Tahapan Penelitian

2.2.1 Penentuan Formulasi

Penentuan formulasi susu bubuk kunyit menggunakan metode *Simplex Latice Design* dan dibantu oleh aplikasi *Design Expert* versi 13 dengan tiga kali ulangan di setiap formula. Adapun batas atas dan batas bawah dari konsentrasi putih telur dan kunyit disajikan pada Tabel 1**,** sedangkan formulasi dapat disajikan di Tabel 2.

Tabel 1. Variasi perlakuan

Bahan	**Konsentrasi (%)**	
	Batas bawah	**Batas atas**
Putih telur	20	35
Kunyit	2	4

Sumber : (Zamzami & Dewi, 2023) & (Swari et al., 2023)

Tabel 2 Variasi proporsi formula

Run	**Konsentrasi (%)**	
	Putih telur	**Kunyit**
1	0	1
2	0	1
3	1	0
4	0.75	0.25
5	0.5	0.5
6	1	0
7	0.5	0.5
8	0.25	0.75

Perhitungan pada konsentrasi bahan yang telah dioptimalkan bedasarkan referensi penelitian (Fadhilah *et al*., 2020) dan dapat disajikan pada Tabel 3 dengan rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\%\, Konsentrasi = f \times (Batas\ Atas - Batas\ Bawah) + Batas\ Bawah$$

Keterangan :

F : Komposisi bahan pada formula

2.2.2 Pembuatan Serbuk Susu

Proses pembuatan serbuk susu mengacu pada Khotimah (2006). Tahap pertama adalah mengukur jumlah susu sebanyak 200 ml di setiap sampel yang kemudian didinginkan dengan suhu 0°C. Susu segar yang telah didinginkan kemudian dicampur dengan bahan pembusa putih telur dan kunyit sesuai dengan takaran pada setiap pengulangan dalam wadah plastik dan dihomogenisasi menggunakan *mixer* pada kecepatan 1 kemudian dinaikkan kecepatan 2 dan 3 secara berurutan selama 3 menit. Susu yang telah dicampurkan bahan pembusa ditambahkan dengan bahan pengisi *maltodekstrin* sebanyak 15% dan diaduk kembali menggunakan *mixer* pada kecepatan 1, kemudian naik menjadi 2 dan 3 secara bergantian selama 5 menit.

Susu segar yang telah dilakukan perlakuan awal, kemudian dituangkan pada loyang *stainless stell* ukuran 25 X 30 cm yang telah dilapisi plastik dengan ketebalan susu sebesar ± 2

mm dan dikeringkan dengan suhu 70°C selama 7 jam didalam *food dehydrator*. Susu yang telah kering kemudian diblender. Susu yang telah diblender kemudian diayak menggunakan ayakan 80 *mesh* untuk memperoleh susu bubuk dengan ukuran yang seragam. Susu bubuk kemudian dikemas dalam plastik klip dan disimpan di *chiller*.

2.2.3 Analisis Optimasi

Serbuk susu yang telah diperoleh kemudian dilakukan pengujian parameter optimasi yang meliputi 5 parameter yaitu meliputi rendemen, kecepatan larut, kadar air, total padatan terlarut, dan organoleptik dengan 30 panelis semi terlatih yang meliputi parameter warna, aroma dan rasa. Setelah dilakukan pengujian karakteristik fisika, maka akan didapatkan kondisi formula optimum dan selanjutnya dilakukan verifikasi guna membuktikan kondisi formula optimum yang diperoleh dapat memberikan hasil respon yang optimal.

2.2.4 Verifikasi Data

Verifikasi data dibantu oleh aplikasi *Design Expert* versi 13 dengan menggunakan metode analisis *prediction interval analysis* dengan keterangan tinggkat sinifikan p>0,05. Data hasil pengamatan pada formula optimum susu bubuk akan dibandingkan dengan hasil nilai prediksi output pada analisis optimasi.

2.2.5 Analisis Penunjang

Analisis penunjang dilakukan setelah formula optimum telah didapatkan. Adapun parameter dari pengujian karakteristik kimia yaitu kadar lemak, kadar protein, dan aktivitas antioksidan.

2.3 Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan karakteristik fisika meliputi rendemen (Yuwono dan Susanto, 2001) , kecepatan larut (Yuwono dan Susanto, 2001), kadar air (AOAC, 2012), total padatan terlarut (Mursalin *et al.*, 2023) dan uji hedonik organoleptik (warna, aroma, dan rasa) dengan 30 panelis semi terlatih yang meliputi parameter warna, aroma dan rasa (Wiyono *et al.*, 2024). Parameter pengamatan karakteristik kimia meliputi kadar lemak (Badan Standarisasi Nasional, 1992) dan protein (Badan Standarisasi Nasional, 1992), aktivitas antioksidan (AOAC, 2012).

2.4 Analisis Data

Data yang diperoles dianalisis menggunakan bantuan aplikasi *Design Expert version 13* dengan menggunakan metode *Simplex Lattice Design* dan uji analisis ragam (ANOVA**)** untuk mengetahui pengaruh signifikan dari setiap faktor terhadap respon yang diamati. Model dianggap valid apabila nilai *p-value* < 0,05 dan selisih antara *predicted* R^2 dan *adjusted* R^2 kurang dari 0,2 (Setiawan, 2018). Nilai R^2 digunakan untuk melihat tingkat kecocokan model antara nilai prediksi dan nilai aktual.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon formulasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi rendemen, kecepatan larut, kadar air, total padatan terlarut, dan organoleptik karena masing-masing mewakili mutu fisik dan sensoris susu bubuk kunyit. Rendemen menunjukkan efisiensi proses pengeringan, sedangkan kecepatan larut menggambarkan kemudahan bubuk untuk dilarutkan kembali dalam air (Yuwono & Susanto, 2001). Kadar air menentukan stabilitas penyimpanan karena kadar

yang tinggi dapat menurunkan mutu dan memicu pertumbuhan mikroba (AOAC, 2012). Total padatan terlarut berhubungan dengan kekentalan dan cita rasa produk (Mursalin *et al.*, 2023). Pengujian organoleptik meliputi warna, aroma, dan rasa untuk menilai tingkat penerimaan konsumen terhadap produk (Wiyono *et al.*, 2024).

3.1 Optimasi Formula Optimum

Pada analisis ragam (ANOVA) di Design Expert, nilai *predicted* R-*squared* dan *adjusted* R-*squared* dianggap valid jika selisih antara keduanya kurang dari 0,2 (Setiawan, 2018). R-Squared (R^2) adalah koefisien determinasi yang memiliki rentang nilai antara 0 hingga 1. Nilai koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0 hingga 1, yang mencerminkan seberapa besar variabilitas variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model regresi. Semakin mendekati 1 nilai R^2, semakin kuat hubungan antara variabel-variabel tersebut. Sebaliknya, nilai R^2 yang mendekati 0 menunjukkan hubungan yang lemah.(Nurani *et al*., 2023). Hasil model tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Model *Desin Expert* Pada Respon yang Dipilih

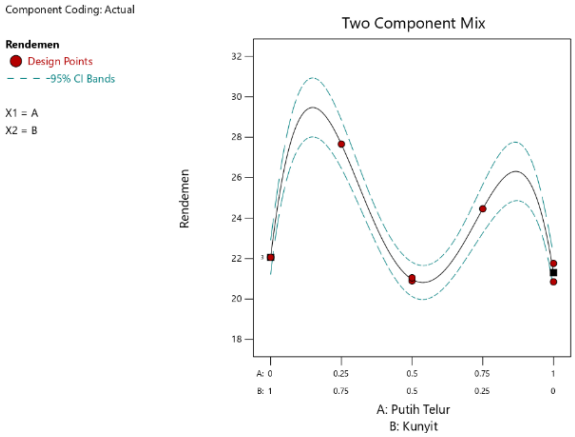
Parameter	Model Matematis	P-value	R2	Adj R2 Model	Pred R2 Model
Rendemen	Quartic	0.0029	0.9890	0.9744	0.9744.
Kecepatan larut	Quadratic	0.0109	0.8359	0.7703	0.554
kadar air	Linear	0.0379	0.5396	0.4629	0.288
Total padatan terlarut	Linear	0.041	0.5285	0.4499	-0.0167
Organokeptik warna	Linear	0.0129	0.6709	0.616	0.4977
Organokeptik aroma	Cubic	0.032	0.8663	0.7661	0.4645
Organokeptik rasa	Cubic	< 0.0001	0.9952	0.9916	0.9832

Hasil ANOVA menunjukkan model signifikan (p-value < 0,05) untuk kadar air dan organoleptik warna, aroma, serta rasa. Nilai R^2 tinggi pada rendemen (0,9890) dan rasa (0,9952) menunjukkan akurasi model yang baik. Namun, total padatan terlarut memiliki Predicted R^2 negatif (-0,0167), menandakan model kurang cocok untuk prediksi. Hal ini sejalan dengan Apriliyanti (2020) bahwa model yang baik harus signifikan dan memiliki keseimbangan antara Prediction R^2 dan Adjusted R^2.

3.1.1 Rendemen

Hasil pada pengujian rendemen susu bubuk kunyit diperoleh nilai antara 20.85-27.66%. Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *Design Expert* 13 pada taraf signifikansi 5% terhadap nilai rendemen menunjukkan bahwa model yang dihasilkan (*quartic*) menghasilkan nilai p-*value* 0.0029 yang lebih kecil dari 0,05.

JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN. 2810-0824
Vol. 5 No. 3 July 2026
Hal. 121-134

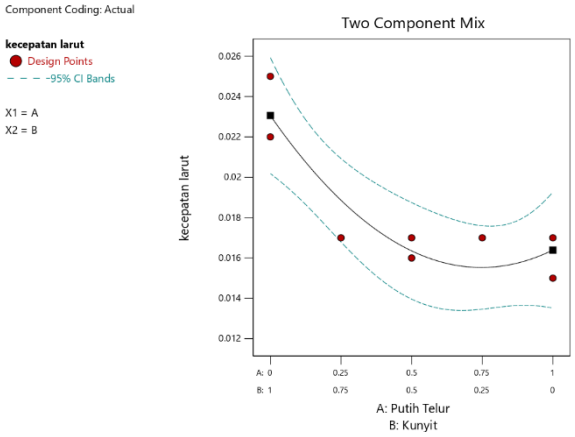


Gambar 1. Grafik *Counter Plot* Nilai Rendemen

Contour plot menunjukkan pengaruh campuran dua komponen, A (Putih Telur) dan B (Kunyit), terhadap rendemen. Sumbu horizontal merepresentasikan proporsi A dan B, sementara sumbu vertikal menunjukkan nilai rendemen. Grafik berbentuk gelombang, dengan puncak rendemen pada proporsi tertentu dan penurunan pada kombinasi lain. Garis hitam menggambarkan kurva utama, garis putus-putus biru menunjukkan interval kepercayaan, dan titik merah mewakili data eksperimen.

3.1.2 Kecepatan Larut

Hasil pada pengujian kecepatan larut pada susu bubuk kunyit diperoleh nilai antara 0.015-0,025 g/detik. Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *Design Expert* 13 pada taraf signifikansi 5% terhadap nilai kecepatan larut menunjukkan bahwa model yang dihasilkan (*quadratic*) menghasilkan nilai p-*value* 0.0109 yang lebih kecil dari 0,05. Adapun grafik *counter plot* nilai kecepatan larut dilihat pada Gambar 2.



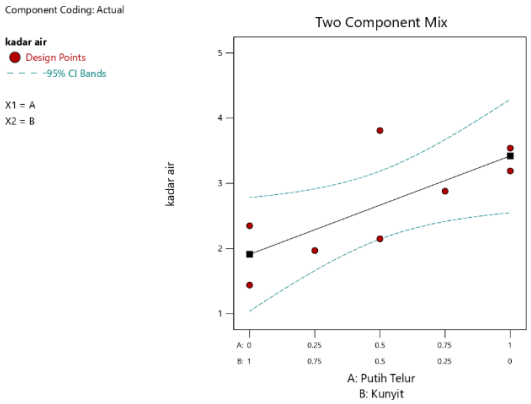
Gambar 2. Grafik *Counter Plot* Nilai Kecepatan Larut

Contour Plot menunjukkan hubungan antara kecepatan larut dan komposisi A (Putih Telur) serta B (Kunyit). Kecepatan larut tertinggi (0,026) terjadi saat B = 1 (A = 0), lalu menurun hingga 0,016 saat A ≈ 0,5, dan sedikit meningkat saat A mendekati 1. Ini menunjukkan

bahwa B meningkatkan kecepatan larut, sementara A menekannya, dengan efek non-linear yang memerlukan komposisi optimal.

3.1.3 Kadar Air

Hasil pada pengujian kadar air susu bubuk kunyit diperoleh nilai antara 1,4-3,8%. Hasil dari pengujian kadar air tersebut telah sesuai dengan SNI 01-2970, 2006 tentang susu bubuk dengen syarat kadar air kurang dari 5%. Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *Design Expert* 13 menunjukkan bahwa model yang dihasilkan (*linear*) menghasilkan nilai p-*value* 0.0379 yang lebih kecil dari 0,05. Adapun grafik *counter plot* nilai kecepatan larut dilihat pada Gambar 3.

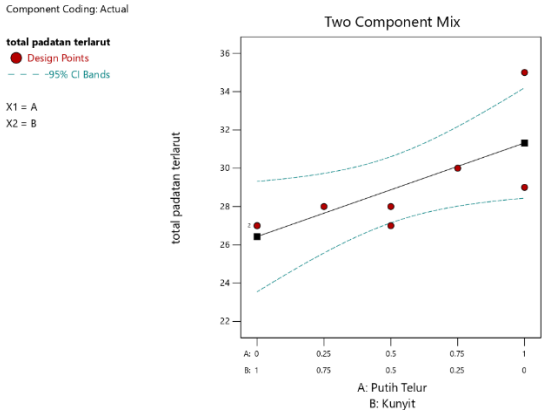


Gambar 3. Grafik *Counter Plot* Nilai Kadar Air

Contour Plot menunjukkan hubungan kadar air dengan proporsi Putih Telur (A) dan Kunyit (B). Sumbu horizontal merepresentasikan proporsi, sedangkan vertikal kadar air. Garis hitam menunjukkan peningkatan kadar air seiring bertambahnya A. Titik merah adalah data eksperimen, dan garis biru putus-putus menunjukkan interval kepercayaan. Grafik ini menegaskan peran proporsi campuran dalam formulasi bahan makanan.

3.1.4 Total Padatan Terlarut

Hasil pada pengujian total padatan terlarut susu bubuk kunyit diperoleh nilai antara 27-35^{0}Brix. Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *Design Expert* 13 pada taraf signifikansi 5% terhadap nilai kecepatan larut menunjukkan bahwa model yang dihasilkan (*linear*) menghasilkan nilai p-*value* 0.0410 yang lebih kecil dari 0,05. Adapun grafik *counter plot* nilai kecepatan larut dilihat pada Gambar 4.

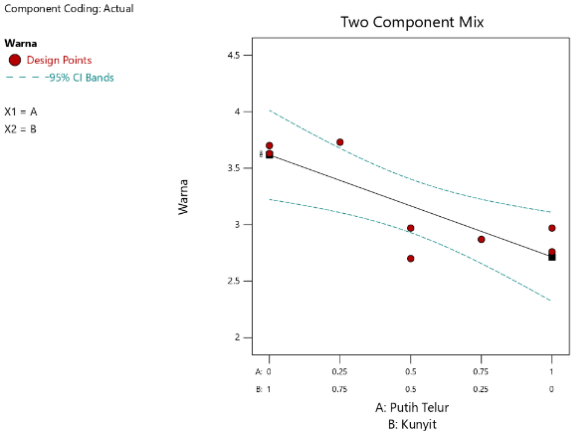


Gambar 4. Grafik *Counter Plot* Nilai Total Padatan Terlarut

Contour Plot menunjukkan bahwa peningkatan Putih Telur (A) meningkatkan total padatan terlarut, sedangkan Kunyit (B) menurunkannya. Tren positif terlihat pada garis regresi linear, dengan titik merah sebagai data eksperimen dan garis biru putus-putus sebagai interval kepercayaan. Putih Telur berpengaruh lebih besar, sehingga komposisi campuran perlu dioptimalkan.

3.1.5 Organoleptik Warna

Hasil pada pengujian organoleptik warna susu bubuk kunyit diperoleh nilai antara 2,70-3,73. Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *Design Expert* 13 pada taraf signifikansi 5% terhadap nilai kecepatan larut menunjukkan bahwa model yang dihasilkan (*linear*) menghasilkan nilai p-*value* 0.0129 yang lebih kecil dari 0,05. Adapun grafik *counter plot* nilai kecepatan larut dilihat pada Gambar 5.



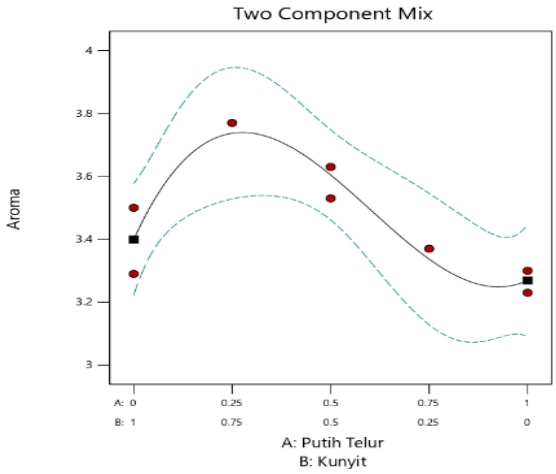
Gambar 5. Grafik *Counter Plot* Nilai Organoleptik Warna

Contour plot menunjukkan hubungan proporsi putih telur (A) dan kunyit (B) terhadap warna. Sumbu x menggambarkan A (0–1), sementara B menurun dengan total proporsi selalu 1. Sumbu y menunjukkan nilai warna (2–4.5). Titik merah adalah data aktual, garis hitam model regresi, dan garis biru interval prediksi. Warna lebih tinggi (3.5–4) saat B dominan dan lebih rendah (2.5–3) saat A meningkat, menegaskan bahwa kunyit lebih berpengaruh dalam meningkatkan intensitas warna dibandingkan putih telur.

3.1.6 Organoleptik Aroma

Hasil pada pengujian organoleptik aroma susu bubuk kunyit diperoleh nilai antara 2,90-3,77. Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *Design Expert* 13 pada taraf signifikansi 5% terhadap nilai kecepatan larut menunjukkan bahwa model yang dihasilkan (*cubic*)

menghasilkan nilai p-*value* 0.0320 yang lebih kecil dari 0,05. Adapun grafik *counter plot* nilai kecepatan larut dilihat pada Gambar 6.

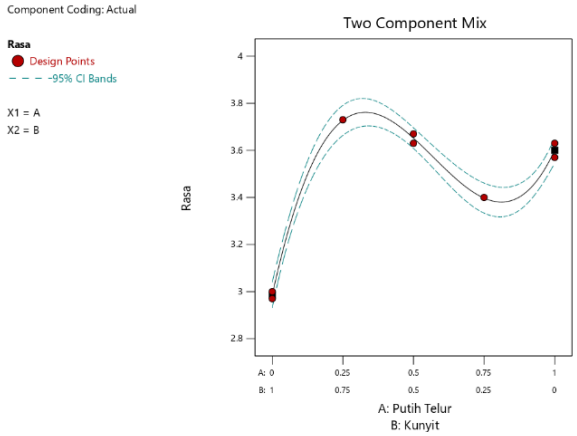


Gambar 6. Grafik *Counter Plot* Nilai Organoleptik Aroma

Contour plot menunjukkan hubungan proporsi putih telur (A) dan kunyit (B) terhadap aroma. Sumbu x merepresentasikan proporsi campuran, y menunjukkan nilai aroma (3–4). Titik merah adalah data aktual, garis hitam prediksi, dan garis biru interval kepercayaan. Aroma tertinggi (≈3,8) pada A ≈ 0,25 dan B ≈ 0,75, menurun di proporsi 50:50, lalu meningkat sedikit (≈3,2) saat A mendekati 1. Titik hitam kotak menunjukkan aroma awal di atas 3,4.

3.1.7 Organoleptik Rasa

Hasil pada pengujian organoleptik warna susu bubuk kunyit diperoleh nilai antara 2,97-3,73. Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *Design Expert* 13 pada taraf signifikansi 5% terhadap nilai kecepatan larut menunjukkan bahwa model yang dihasilkan (*cubic*) menghasilkan nilai p-*value* < 0.0001 yang lebih kecil dari 0,05. Adapun grafik *counter plot* nilai kecepatan larut dilihat pada Gambar 7.

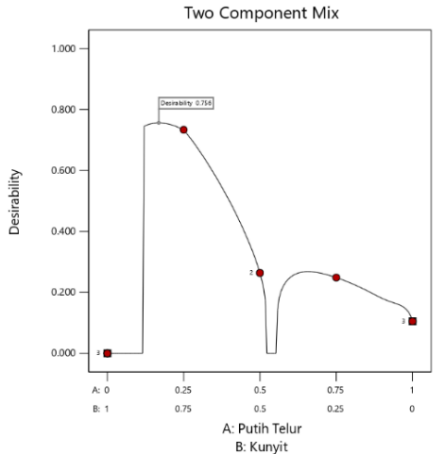


Gambar 7. Grafik *Counter Plot* Nilai Organoleptik Rasa

Contour plot menunjukkan hubungan proporsi putih telur (A) dan kunyit (B) terhadap rasa dalam sistem Two Component Mix. Sumbu x merepresentasikan peningkatan A (0–1), sementara B menurun dengan total selalu 1. Sumbu y menunjukkan nilai rasa (2,8–4). Titik merah adalah data aktual, garis hitam tren prediksi, dan garis biru interval kepercayaan. Rasa meningkat saat B dominan, mencapai puncak sebelum menurun ketika A > 0,5, lalu sedikit naik kembali di A = 1. Ini menunjukkan bahwa keseimbangan optimal antara A dan B diperlukan. Kunyit meningkatkan karakteristik fungsional dan sensoris susu bubuk berkat kurkumin, yang memiliki sifat antioksidan, anti-inflamasi, dan antimikroba (Hewlings & Kalman, 2017).

3.2 Penentuan Formula Optimum

Formula optimum susu kunyit bubuk ditentukan berdasarkan rendemen, kecepatan larut, kadar air, total padatan terlarut, serta organoleptik (warna, aroma, rasa). Pendekatan nilai desirability digunakan, dengan nilai tertinggi mendekati 1 sebagai indikator optimal (Ramadhani *et al*., 2017). Hasil *desirability* formula optimum dapat dilihat pada Gambar 8**.**



Gambar 8. Hasil *desirability* formula optimum susu kunyit bubuk

Hasil desirability menunjukkan hubungan proporsi putih telur (A) dan kunyit (B) terhadap nilai desirability (0–1) dalam sistem Two Component Mix. Nilai optimal 0,756 dicapai pada A = 22,52% dan B = 3,66%, menunjukkan dominasi kunyit meningkatkan performa. Desirability menurun tajam saat A > 0,5, lalu sedikit meningkat sebelum turun kembali di A = 1. Formula optimum diuji ulang dan dibandingkan dengan nilai prediksi. Formula optimum yang dihasilkan oleh program kemudian diverifikasi menggunakan analisis parametrik *One Sample T-Test*. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan hasil uji laboratorium dengan nilai prediksi dari program guna mengevaluasi kesesuaian dan kelayakan nilai yang diperoleh terhadap kriteria setiap parameter. Hasil perbandingan analisis *One Sample T-Test* disajikan dalam table 5.

Tabel 5. Nilai Prediksi Dan Hasil Uji Formula Optimum

Respon	Nilai prediksi	Hasil Uji
Rendemen	29.3826	29.66
kecepatan larut	0.020	0.017
kadar air	2.100	2.6
total padatan terlarut	27.20	27
Warna	3.46	3.4
Aroma	3.69	3.67
Rasa	3.60	3.63

Nilai prediksi digunakan sebagai acuan nilai pada formula optimum yang telah didapatkan. Nilai prediksi yang dihasilkan tidak tepat sama dengan hasil uji yang telah didapatkan namun rentang nilai yang tidak terpaut jauh. Rentang tersebut menunjukkan bahwa formula yang dihasilkan telah sesuai dengan hasil prediksi. Ketepatan dengan hasil prediksi menandakan bahwa formula yang didapatkan telah memiliki keseuaian dengen kriteria semua respon.

3.3 Verifikasi Solusi Formula Optimum

Hasil penentuan formula optimum kemudian dilakukan verifikasi formula optimum dengan menggunakan aplikasi *Design Expert 13* menggunakan interval kepercayaan 95% dan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Verifikasi Data Optimasi

Analysis	Predicted Mean	Data Mean	95% PI low	95% PI high
Rendemen	29.3788	29.66	27.5021	31.2556
Kecepatan larut	0.020038	0.017	0.015371	0.0247
Kadar air	2.16681	2.6	0.534141	3.79947
Total padatan terlarut	27.2568	27	21.8477	32.6659
Warna	3.46489	3.4	2.72463	4.20514
Aroma	3.69526	3.67	3.37317	4.01735
Rasa	3.60717	3.63	3.5088	3.70554

Hasil analisis menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan ($p > 0,05$) antara rata-rata prediksi (Predicted Mean) dan nilai pengamatan (Observed) untuk semua parameter. Rendemen (29,3788) sesuai dengan target (29,66) dalam interval 27,5021–31,2556. Kecepatan larut (0,0200376) berada dalam interval 0,0153713–0,0247039. Kadar air (2,16681) tidak berbeda dari target 2,6 dalam interval 0,534141–3,79947. Total padatan terlarut (27,2568) sesuai dengan target 27 dalam interval 21,8477–32,6659. Organoleptik warna (3,46489), aroma (3,69526), dan rasa (3,60717) juga sesuai dengan nilai target. Secara keseluruhan, model prediksi menunjukkan akurasi tinggi, mendukung pengendalian kualitas produk sesuai standar.

3.4 Karakteristik Kimia Formula Optimum

3.4.1 Aktivitas Antioksidan

Pengujian aktivitas antioksidan, metode yang digunakan untuk mengukur kadar aktivitas antioksidan adalah teknik DPPH (2,2-*diphenyl-1-picrylhydrazyl*). Bedasarkan hasil pengujian

formula optimum yang diperoleh dari analisis menunjukkan bahwa sampel memiliki kadar aktivitas antioksidan sebesar 67,40 %. Persen inhibisi (%inhibisi) menunjukkan kemampuan senyawa antioksidan dalam sampel untuk menangkap radikal bebas pada konsentrasi larutan yang diuji. Nilai persen inhibisi yang semakin meningkat dapat dipengaruhi oleh penurunan nilai absorbansi DPPH yang dihasilkan oleh sampel (Wati *et al*., 2022). Faktor yang menghasilkan kadar aktivitas antioksidan yang tinggi adalah penambahan kunyit sebagai bahan tambahan dan bahan aktif dalam susu bubuk kunyit. Kurkumin, sebagai antioksidan kuat, menghambat radikal bebas dan meningkatkan enzim antioksidan tubuh seperti katalase, SOD, dan glutathione peroksidase (Esperanza *et al*., 2021).

3.4.2 Lemak

Metode analisis yang digunakan untuk mengukur kadar lemak pada peneitian ini adalah menggunakan metode ekstraksi Soxhlet yang merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI) atau AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Berdasarkan data hasil pengujian kadar lemak pada sampel tercatat sebesar 28,90 %. Sesuai dengan SNI 01-2970 (2006) yang menyebutkan bahwa kandungan minimal kadar lemak pada susu bubuk berlemak minimal 26%. Faktor yang mempengaruhi kadar lemak pada susu bubuk kunyit adalah penggunaan susu sapi murni sebagai bahan utama susu bubuk kunyit. Susu sapi murni memiliki kandungan lemak sekitar 3,3%–5%, tergantung pada faktor seperti ras sapi, jenis pakan, dan kondisi lingkungan. (Widyawati *et al*., 2020).

3.4.3 Protein

Pengujian protein dilakukan dengan metode kjeldahl sebagai teknik utama untuk menentukan kandungan protein total dalam sampel susu bubuk kunyit yang merujuk pada standar SNI 01-2891-1992. Bedasarkan hasil pengujian, kadar protein dalam sampel 13,90 %. Bedasarkan SNI 01-2970 (2006) dijelaskan bahwa standar minimal kadar protein susu bubuk berlemak adalah 23% sedangkan susu bubuk kunyit memiliki kadar protein sebesar 13,90% yang dimana jauh lebih rendah daripada standar minimal dari SNI. Hal tersebut disebabkan oleh metode selama pengeringan.Metode *foam mat drying* yang digunakan dalam penelitian ini dapat mempengaruhi kestabilan protein selama proses pengeringan. Sesuai dengan pendapat Novia *et al.* (2011), pengeringan pada suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein, yang mengakibatkan perubahan struktur sekunder, tersier, dan kuartener protein.

4. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan maka didapatkan kesimpulan bahwa Formula optimum (putih telur 22,52%, kunyit 3,664%) dipilih karena formula 1–8 tidak mencapai desirability mendekati 1. Software menghasilkan formula baru dengan desirability 0,756. Formula optimum susu bubuk kunyit memiliki nilai persentse pada kadar aktivitas antioksidan sebesar 67,40 %, kadar lemak sebesar 28,90%, dan kadar protein sebesar 13,90%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan pada Universitas Negeri Jember dan semua pihak yang telah memberikan fasilitas pada pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

AOAC. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). USA.

Ariani, T. A., & Aini, N. (2018). Nurse caring behavior and satisfaction of inpatient patients on nursing services. *Jurnal Keperawatan*, *9*(1), 58–64.

Babu, A. K., Kumaresan, G., Raj, V. A. A., & Velraj, R. (2018). Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *90*, 536–556. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.034

Badan Standarisasi Nasional. (1992). *SNI 01-2973-1992: Syarat mutu dan cara uji biskuit*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. (2006). *SNI 01-2970-2006: Susu bubuk*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Esperanza, Y., Prabowo, S., & Handajani, F. (2021). Pengaruh pemberian curcumin terhadap perbaikan fungsi hepar tikus putih (Rattus novergicus) yang diinduksi parasetamol dosis tinggi. *Jurnal Ilmiah Kedokteran Wijaya Kusuma*, *10*(2), 208. https://doi.org/10.30742/jikw.v10i2.1250

Fadhilah, U., Slamet, & Pambudi, D. B. (2020). Optimasi asam jawa (Tamarindus indica L) dan asam sitrat dalam tablet effervescent dengan menggunakan design expert. *Farmasains*, 1–10.

Khotimah, K. (2006). Pembuatan susu bubuk dengan foam-mat drying: Kajian pengaruh bahan penstabil terhadap kualitas susu bubuk. *Jurnal Protein*, *13*(1). Jurusan Peternakan, Fakultas Peternakan – Perikanan, Universitas Muhammadiyah Malang.

Maryam, S., Kartikawati, E., & Kumala Sari, P. (2022). Formulasi sediaan serbuk effervescent ekstrak daun talas untuk mengobati diabetes. *Journal of Pharmacopolium*, *5*(3), 292–298.

Mursalin, M., Sutrisno, S., Siburian, J., Rosadi, B., & Guspianto, G. (2023). Penerapan teknologi produksi permen kopi di Kecamatan Sungai Bungkal Kota Sungai Penuh Jambi. *Jurnal Nusantara Mengabdi*, *2*(3), Article 3. https://doi.org/10.35912/jnm.v2i3.1894

Novia, D., Amelia, S., & Ayuza, N. Z. (2011). Kajian suhu pengovenan terhadap kadar protein dan nilai organoleptik telur asin. *Jurnal Peternakan*, *8*(2).

Nurani, A. T., Setiawan, A., & Susanto, B. (2023). Perbandingan kinerja regresi decision tree dan regresi linear berganda untuk prediksi BMI pada dataset asthma. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, *6*(1), 34–43.

Prasad, S., Gupta, S. C., Tyagi, A. K., & Aggarwal, B. B. (2014). Curcumin, a component of golden spice: From bedside to bench and back. *Biotechnology Advances*, *32*(6), 1053–1064. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.04.004

Rahmani, A. H., Alsahli, M. A., & Aly, S. M. (2018). Therapeutic implications of curcumin in the prevention of oxidative stress-related diseases by modulation of antioxidant system. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *102*, 310–316. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.142

Ramadhani, R. A., Riyadi, D. H. S., Triwibowo, B., & Kusumaningtyas, R. D. (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. https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.5

Sangamithra, A., Sivakumar Venkatachalam, S. V., John, S. G., & Kannan Kuppuswamy, K. K. (2015). Foam mat drying of food materials: A review.

Setiawan, F., Yunita, O., & Kurniawan, A. (2018). Uji aktivitas antioksidan ekstrak etanol kayu secang (Caesalpinia sappan) menggunakan metode DPPH, ABTS, dan FRAP. *Media Pharmaceutica Indonesiana*, *2*(2).

Swari, I. G. A. I. A. I. P., Antarini, A. A. N., & Puryana, I. G. P. S. (2023). Pengaruh penambahan ekstrak kunyit (Curcuma longa L.) terhadap karakteristik dan umur simpan minuman sari kunyit. *Jurnal Ilmu Gizi: Journal of Nutrition Science*, *12*(2), 127–133. https://doi.org/10.33992/jig.v12i2.2173

Wirjatmadja, R., Mussa, O. R. P. A., Widyawati, R., & Pratama, M. D. W. (2020). Perbandingan kadar lemak dan berat jenis susu sapi perah Friesian Holstein (FH) di Bendul Merisi, Surabaya (dataran rendah) dan Nongkojajar, Pasuruan (dataran tinggi). *VITEK: Bidang Kedokteran Hewan, 10*, 15–19.

Wiyono, A. E., Kuswardhani, N., & Prameswari, D. P. (2024). Optimasi maltodekstrin dan ekstrak secang pada serbuk minuman jahe menggunakan mixture design: Optimasi maltodekstrin dan ekstrak secang pada serbuk minuman jahe menggunakan mixture design. *Jurnal Agroindustri, 14*(1), 40–52.

Yuwono, S. Y., & Susanto, T. (2001). *Pengujian fisik pangan*. Surabaya: Unesa Press.

Zamzami, M., & Dewi, E. N. (2023). Pengaruh konsentrasi putih telur dalam pembuatan bubuk kaldu jamur tiram dengan metode foam mat drying. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, *8*(4), 732–738. https://doi.org/10.33795/distilat.v8i4.492