

Optimization of Pineapple Skin Kombucha (*Ananas comosus* L. merr) Fermentation as Probiotic Drink Using Surface Response Method

Optimasi Fermentasi Kombucha Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. merr) Sebagai Minuman Probiotik Menggunakan Metode Respon Permukaan

Sectio Bachrul Hilmi¹⁾, Rahmah Utami Budiandari ^{*,2)}

^{1), 2)} Program Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: rahmahutami@umsida.ac.id

Abstract. This study aims to optimize the kombucha fermentation process using pineapple peel (*Ananas comosus* L. merr) as the base material, with variations in fermentation time and sucrose concentration to produce a probiotic beverage with optimal characteristics. Pineapple peel, which has long been considered waste, contains active compounds such as bromelain, flavonoids, and natural sucrose that support the SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast) fermentation process. This study used the Response Surface Methodology (RSM) with a Cenctric Composite Design (CCD) to determine the best combination of these two variables. The optimal treatment resulted in a desirability value of 1.000 at a sucrose concentration of 15% and a fermentation time of 144 hours with a total acidity of 0.564%, after verification, it obtained 0.583% and desirability of 1,000

Keywords – Kombucha; pineapple peel; fermentation time

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses fermentasi kombucha dengan bahan dasar kulit nanas (*Ananas comosus* L. merr) dengan variasi lama fermentasi dan konsentrasi sukrosa untuk menghasilkan minuman probiotik dengan karakteristik yang optimal. Kulit nanas yang selama ini dianggap limbah ternyata mengandung senyawa aktif seperti bromelain, flavonoid, dan sukrosa alami yang mendukung proses fermentasi SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast). Penelitian ini menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM) dengan desain Centrac Composite Design (CCD) untuk menentukan kombinasi terbaik dari kedua variable tersebut. Hasil perlakuan optimal memiliki nilai desirability 1.000 pada konsentrasi sukrosa 15% dan lama fermentasi 144 jam dengan total asam 0,564% , setelah proses verifikasi mendapatkan 0,583% dan desirability sebesar 1,000

Kata Kunci – Kombucha; Kulit nanas; lama fermentasi

I. PENDAHULUAN

Kombucha adalah minuman probiotik yang dihasilkan melalui fermentasi the dan sukrosa yang ditambahkan starter mikroba berupa SCOBY (Symbiotic Colony of Bacteria and Yeast). Fermentasi ini menghasilkan produk dengan rasa asam manis yang khas serta mengandung senyawa bioaktif seperti asam organik, vitamin, dan enzim yang memberikan berbagai manfaat kesehatan termasuk meningkatkan keseimbangan mikrobiota usus dan memperkuat system imun tubuh [1][2][3]. Kombucha juga memiliki efek untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme berbahaya dalam saluran pencernaan sehingga dapat membantuk untuk menjaga kesehatan saluran pencernaan [4].

Nanas (*Ananas comosus* L. merr) merupakan salah satu buah tropis dengan minat tinggi di Indonesia [5]. Bagian Kulit nanas yang sering kali dianggap sebagai limbah ternyata terdapat kandungan senyawa aktif seperti enzim bromelain serta komponen karbohidrat dan glukosa [6]. Kandungan tersebut menjadikan kulit nanas memiliki potensi untuk difermentasi menjadi kombucha. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sari kulit nanas dapat menghasilkan kombucha dengan karakteristik kimia yang sesuai untuk dikonsumsi seperti pH antara 2,5 hingga 3,5.

Selama proses fermentasi kombucha, sukrosa dihidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa kemudian difermentasi oleh khamir dalam SCOBY menjadi etanol dan karbondioksida, selanjutnya etanol tersebut dioksidasi oleh bakteri asam asetat menjadi asam-asam organik seperti asam asetat, asam glukonat, dan asam glukoronat. Pembentukan asam-asam organik ini menyebabkan peningkatan total asam selama fermentasi. Total asam tidak hanya mencerminkan aktivitas metabolisme mikroorganisme selama fermentasi tetapi juga berperan dalam menentukan stabilitas mikrobiologis dan keamanan. Kadar asam yang terlalu tinggi dapat menurunkan penerimaan konsumen. Pengendalian dan optimasi total asam menjadi parameter penting dalam pengembangan kombucha kulit nanas. Oleh karena itu, total asam digunakan sebagai respon utama dalam penelitian ini karena mencerminkan aktivitas fermentasi dan mutu kombucha [2].

Tantangan utama dalam pemanfaatan kombucha sebagai minuman probiotik terletak pada waktu fermentasi yang relative lama yaitu 7 hingga 14 hari dan memiliki rasa yang cenderung asam yang kuat sehingga dapat menurunkan

minat konsumen [3][7][8][9]. Salah satu solusi yang diusulkan adalah melakukan optimisasi terhadap lama fermentasi dan konsentrasi sukrosa yang diketahui mempengaruhi sifat fisikokimia kombucha seperti pH dan asam.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi sukrosa berpengaruh nyata terhadap karakteristik kimia kombucha termasuk total asam serta penurunan pH. Dengan mengatur durasi fermentasi dan kadar gula diharapkan dapat diperoleh produk kombucha dari kulit nanas dengan karakteristik optimal dan rasa yang lebih dapat diterima oleh masyarakat luas [7][10].

Rumusan Masalah

1. Berapakah nilai optimum lama fermentasi dan konsentrasi sukrosa yang menghasilkan karakteristik terbaik kombucha kulit nanas?
2. Bagaimana hubungan antara lama fermentasi dan konsentrasi sukrosa terhadap respon mutu kombucha kulit nanas berdasarkan metode RSM?

Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai optimum lama fermentasi dan konsentrasi sukrosa dalam menghasilkan karakteristik terbaik kombucha kulit nanas
2. Menganalisis pengaruh interaksi lama fermentasi dan konsentrasi sukrosa terhadap mutu kombucha kulit nanas menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM)

II. METODE

A Waktu dan tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan april 2025 hingga September 2025. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengembangan Produk, Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi, Laboratorium Analisa pangan. Program studi Teknologi Pangan Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

B Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi toples kaca, kertas saring, sendok, saringan 100 mesh, panic, timbangan digital, thermometer pH meter, buret, erlenmeyer, pipet ukur, refraktometer, dan color reader.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan kombucha kulit nanas yaitu kulit nanas, gula pasir, jasmin tea, SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*), air bersih, larutan NaOH 0,1N, Larutan I2 0,01N, indikator fenoltalein, indikator amilum, dan aquades.

C Rancangan Percobaan

Penelitian ini dirancang menggunakan metode CCD (*Central Composite Design*) yang merupakan bagian dari RSM (*Response Surface Methodology*). Rancangan yang digunakan yaitu :

Tabel 1. Rancangan Percobaan

	Konsentrasi Sukrosa (%)	Lama Fermentasi
Titik Tengah (0)	15	144
Titik Bawah (-1)	10	96
Titik Atas (1)	20	192

Tabel 2. Rancangan Komposit Pusat Pada Proses Pembuatan Kombucha Kulit Nanas

No	Kode Variabel		Variabel Sebenarnya		Respon
	X1	X2	Konsentrasi Sukrosa (%)	Lama Fermentasi (Jam)	Total Asam (%)
1	1	1	20	192	
2	0	0	15	144	
3	-1	-1	10	96	
4	0	0	15	144	
5	-1,414	0	7,92893	144	
6	0	0	15	144	
7	0	1,414	15	211,882	
8	-1	1	10	192	
9	1	-1	20	96	
10	1,414	0	22,0711	144	

11	0	0	15	144
12	0	0	15	144
13	0	-1,414	15	76,1177

D Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dua tahap yaitu:

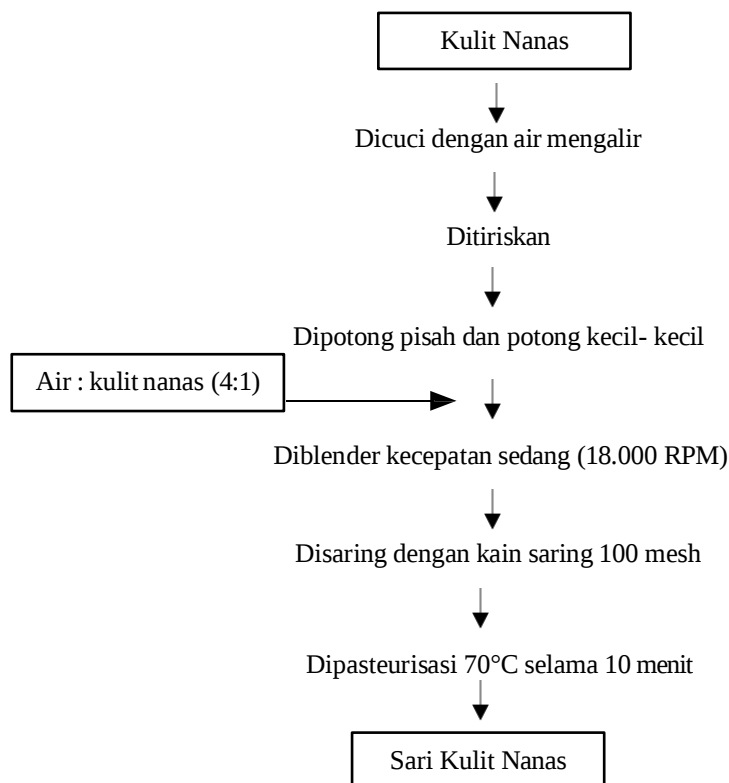
1. Proses ekstraksi kulit nanas

Nanas dicuci bersih menggunakan air mengalir lalu ditiriskan lalu dipisahkan antara daging dan kulit buah dan dipotong kecil-kecil, setelah itu ditambahkan air dengan perbandingan 4x berat kulit nanas, diblender dengan kecepatan sedang (1800 rpm) hingga halus kemudian disaring dengan saringan 100 mesh sehingga mendapatkan filtrate dan ampas. Filtrat dipasteurisasi selama 10 menit pada suhu 70°C [2].

2. Proses optimasi kombucha

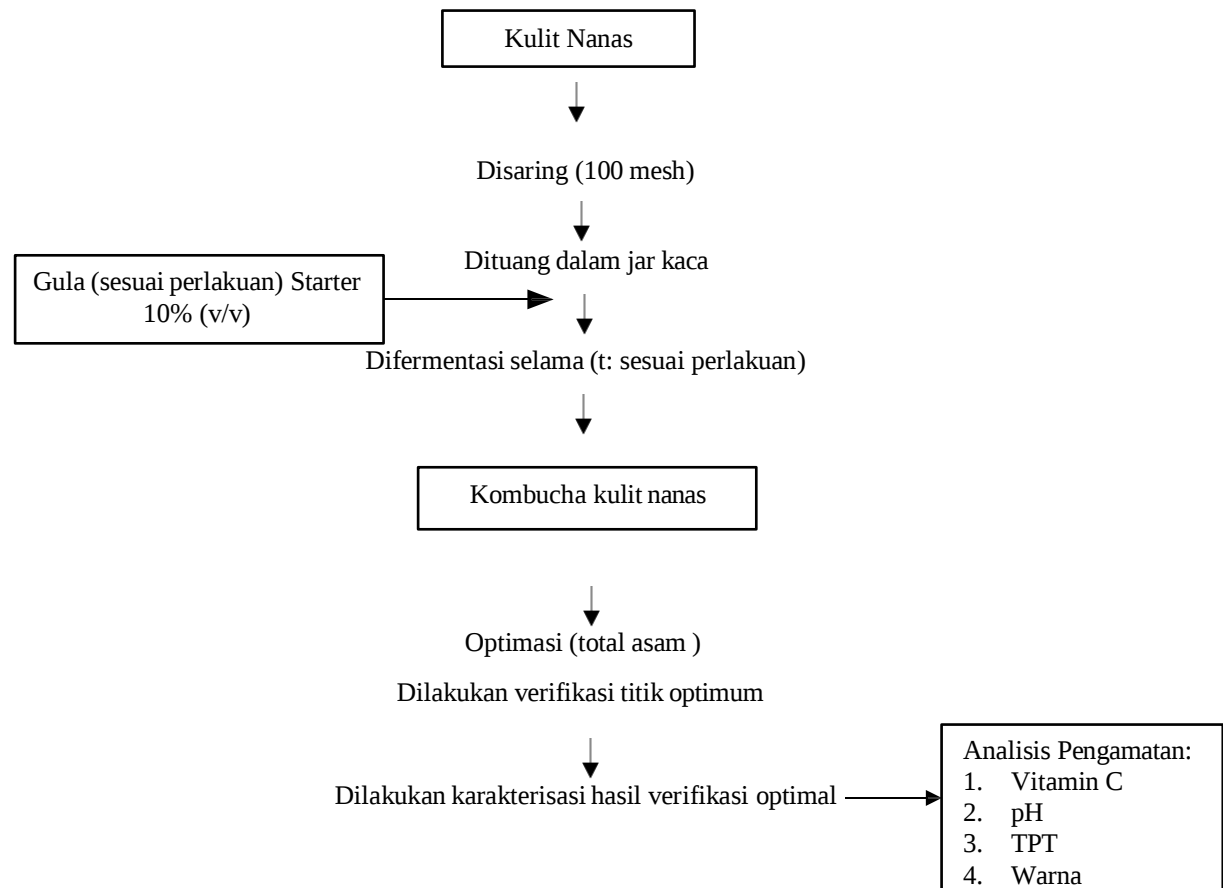
Setelah didinginkan hingga suhu 25°C, kemudian dituang dalam jar kaca yang sudah disterilisasi dan ditambahkan gula pasir sesuai perlakuan dan dimasukkan starter kombucha sebanyak 10% (v/v). Selanjutnya bagian atas jar ditutup kain dan diikat dengan karet gelang, kemudian dilakukan fermentasi sesuai perlakuan. Kombucha yang dihasilkan lalu dianalisis respon total asam. Selanjutnya dilakukan proses optimasi dengan menginput data analisis total asam ke dalam *software Design Expert 13*. Setelah data diinput, *software* akan menganalisis data tersebut dan menentukan karakteristik yang diinginkan. Program akan memberikan prediksi titik optimum berdasarkan karakteristik tersebut. Hasil dari proses optimasi selanjutnya dilakukan proses *verifikasi* untuk mengetahui perbedaan antara prediksi *software Design Expert 13* dengan hasil analisis. Setelah itu, dilakukan karakterisasi hasil verifikasi melalui pengujian kimia dan fisik [9]. Diagram alir proses ekstraksi kulit nanas dan optimasi kombucha kulit nanas dapat dilihat pada **Gambar 1 dan 2**.

1. Proses Ekstraksi Kulit Nanas



Gambar 1. Diagram alir pembuatan sari kulit nanas [2]

2. Proses optimasi kombucha kulit nanas



Gambar 2. Diagram alir pembuatan kombucha kulit nanas [2][9]

E Pengujian dan Analisis

Dilakukan pengujian respon pada kombucha kulit nanas meliputi analisis total asam [8]. Setelah diperoleh nilai respon produk kombucha kulit nanas, dilakukan analisis data menggunakan *software Design Expert 13* untuk mendapatkan kondisi optimal dan uji t dengan minitab untuk perbandingan hasil verifikasi dengan prediksi.

F Verifikasi Hasil Optimal

Verifikasi dilakukan dengan menganalisis perbedaan yang muncul antara hasil prediksi yang dihasilkan oleh *software Design Expert 13* sebagai titik optimum. Hasil prediksi dari perangkat lunak diperoleh setelah perangkat lunak melakukan analisis yang menghasilkan titik optimum. Jika selisihnya kurang dari 5% hal ini mengindikasikan adanya keasaman yang signifikan antara keduanya yang menandakan bahwa model yang digunakan memiliki akurasi yang tinggi.

G Karakterisasi Hasil Verifikasi

Karakterisasi hasil produk kombucha kulit nanas optimal yang sudah diverifikasi meliputi analisis fisik yaitu TPT [10] dan warna [11]. Analisis kimia pH [12], dan Vitamin C [13].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai optimasi kombucha kulit nanas telah dilakukan dengan menggunakan dua faktor dan satu respon. Data hasil kombinasi perlakuan yang didapat dari *Response Surface Methodology* dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Hasil Respon Total Asam

No	Kode Variabel		Variabel Sebenarnya		Respon
	X1	X2	Konsentrasi Gula (%)	Lama Fermentasi (Jam)	Total Asam (%)
1	1	1	20	192	0,986
2	0	0	15	144	0,580
3	-1	-1	10	96	0,526
4	0	0	15	144	0,580
5	-1,414	0	7,92893	144	0,690
6	0	0	15	144	0,500
7	0	1,414	15	211,882	1,020
8	-1	1	10	192	0,980
9	1	-1	20	96	0,480
10	1,414	0	22,0711	144	0,580
11	0	0	15	144	0,580
12	0	0	15	144	0,580
13	0	-1,414	15	76,1177	0,500

A. Pemilihan Model Pada Respon Total Asam

Pemilihan model pada metode optimasi dengan *Response Surface Methodology* ini dapat ditentukan melalui model uraian jumlah kuadrat (*Sequential Model Sum of Squares*), uji ketidaksesuaian (*Lack of Fit Test*), serta ringkasan model berdasarkan analisis statistik (*Model Summary Statistics*). Pada uraian jumlah kuadrat ditentukan berdasarkan nilai *p-value*. Pada **Tabel 4**, dengan respon total asam dianjurkan menggunakan model *quadratic* karena bersifat signifikan dan nilai *p-value* <0,05 sehingga berpengaruh lebih besar dari model lain

Tabel 4. Data Analisis Ragam Respon Total Asam

	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F-hitung	p-value	Keterangan
Mean	5,67	1	5,67			
Linear	0,3641	2	0,1820	16,75	0,0006	
2FI	0,0007	1	0,0007	0,563	0,8177	
Quadratic	0,0907	2	0,0454	18,43	0,0016	Suggested
Cubic	0,0080	2	0,0040	2,15	0,2116	Aliased
Residual	0,0093	5	0,0019			
Total	6,14	13	0,4722			

Pemilihan ringkasan model ditentukan berdasarkan beberapa parameter *statistic*. Berdasarkan nilai deviasi, model dengan nilai kecil menunjukkan tingkat ketelitian yang lebih baik, selain itu, pemilihan model juga ditentukan berdasarkan nilai *sequential p-value* dan *Lack of Fit p-value*. Model *quadratic* memiliki nilai *sequential p-value* sebesar 0,0016 ($p < 0,05$) yang menunjukkan bahwa model signifikan serta nilai *Lack of Fit p-value* sebesar 0,1480 ($p > 0,05$) yang menandakan tidak terjadi *Lack of Fit*. Kemudian pemilihan model juga didasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) dimana model yang baik memiliki R^2 mendekati 1 yang menunjukkan adanya korelasi yang tinggi antara hasil penelitian dengan nilai prediksi [14]. Model *quadratic* memiliki nilai *Adjusted R²* sebesar 0,9375 dan *Predicted R²* sebesar 0,8008 dengan selisih kurang dari 0,2 sehingga memenuhi kriteria model yang baik [15]. Nilai *Adjusted R²* tersebut menunjukkan bahwa variable bebas yang digunakan dalam penelitian ini mampu menjelaskan

respon total asam sebesar 93,75% sedangkan sisanya sebesar 6,66% yang dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak diteliti. Untuk pemilihan ringkasan model statistik respon total asam dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Table 5. Pemilihan Ringkasan Model Statistika Respon Total Asam

Sumber	Standar	R ²	Adjustmen R ²	Predict R ²	Press	Keterangan
Mean	Deviasi	0,7702	0,7242	0,6049	0,1868	
Linear	0,1042	0,7702	0,7242	0,6049	0,1868	
2FI	0,1095	0,7716	0,6954	0,3833	0,2915	
Quadratic	0,0496	0,9635	0,9375	0,8008	0,0944	Suggested

Penentuan model berdasarkan uji ketidaksesuaian memberikan hasil nilai *p-value* pada model *quadratic* sebesar 0,1480. Penggunaan model secara akurat jika dari model bersifat tidak nyata dengan *p-value* lebih besar dari 0,05. Hal ini menjelaskan bahwa *quadratic* merupakan model yang tepat dan terpilih untuk respon total asam. Berdasarkan nilai *sequential p-value* sebesar 0,0016, model *quadratic* signifikan menjelaskan hubungan antara variabel bebas dengan respon. Nilai *Adjusted R²* sebesar 0,9375 dan *predicted R²* sebesar 0,8008 yang menunjukkan kecocokan model yang baik antara data actual dan data prediksi sehingga model *quadratic* direkomendasikan (*suggested*) untuk digunakan dalam analisis respon total asam [16].

Persamaan model berdasarkan uji ketidaksesuaian menunjukkan bahwa model *quadratic* memiliki nilai *p-value* *lack of fit* sebesar 0,1480 (>0,05) sehingga model bersifat tidak signifikan terhadap *lack of fit* dan menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data eksperimen. Berdasarkan nilai *p-value* model sebesar $6,879 \times 10^{-5}$ (<0,05), model kuadratik signifikan dalam menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan respon total asam. Nilai *Adjusted R²* sebesar 0,9375 dan *predicted R²* sebesar 0,8008 menunjukkan kesesuaian yang baik antara data aktual dan hasil prediksi sehingga model kuadratik direkomendasikan untuk digunakan dalam analisis total asam.

Persamaan ini digunakan untuk mempelajari pengaruh masing-masing variabel terhadap respon total asam. Koefisien X_1^2 dan X_2^2 yang bernilai negative menunjukkan adanya titik stasioner maksimum pada permukaan respon yang mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi gula dan lama fermentasi hanya akan meningkatkan total asam hingga titik optimal [17]. Dengan demikian, bentuk permukaan respon bersifat cekung kebawah.

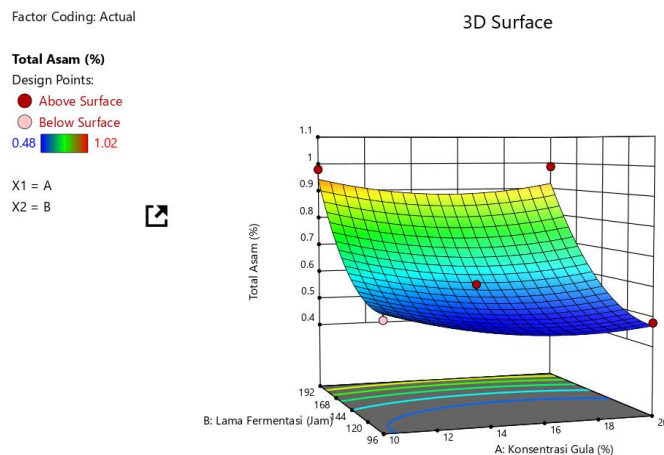
Tabel 6. Analisis Ragam Pada Respon Total Asam Model Kuadratik

	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F-hitung	p-value	Keterangan
Model	0,4555	5	0,0911	37,00	<0,0001	Signifikan
Lack of fit	0,0121	3	0,0040	3,16	0,1480	
A-konsentrasi Gula	0,0048	1	0,0048	1,94	0,2061	
B-lama fermentasi	0,3593	1	0,3593	145,92	<0,0001	
AB	0,0007	1	0,0040	0,2745	0,6165	
Standar Deviasi	0,0496		0,0007			
R ²	0,9635					
R ² Adjusted	0,9375					
R ² Predicted	0,8008					
PRESS	0,0942					

Adanya perubahan warna pada grafik 3D digunakan sebagai acuan untuk melihat seberapa tinggi respon yang dihasilkan dari dua interaksi. Tingginya nilai respon biasanya berwarna semakin merah, sedangkan semakin rendah nilai respon grafik akan berwarna biru. Kandungan total asam tertinggi dapat pada interaksi antara faktor konsentrasi dan lama fermentasi pada kondisi maksimum. Titik A merupakan konsentrasi sukrosa sebesar 15% dan titik B merupakan lama fermentasi selama 144 jam yang menghasilkan total asam sebesar 0,564%. Peningkatan nilai total asam dipengaruhi oleh lama fermentasi yang lebih dominan dibandingkan konsentrasi sukrosa [18][19][20]. Selama fermentasi berlangsung mikroorganisme pada SCOBY memanfaatkan sukrosa sebagai substrat untuk menghasilkan etanol dan asam-asam organik seperti asam asetat, asam glukonat serta asam laktat [21][22]. Semakin lama waktu fermentasi semakin besar jumlah asam organik yang terbentuk sehingga kadar total asam juga meningkat [23][24].

Penambahan konsentrasi sukrosa yang berlebih tidak selalu meningkatkan total asam secara signifikan karena sebagian gula akan digunakan oleh khamir untuk proses pembentukan etanol sebelum diubah oleh bakteri menjadi asam [17]. Hal tersebut menyebabkan respon total asam meningkat hingga mencapai titik optimum. Dalam penelitian

ini, respon total asam dioptimasi untuk memperoleh nilai optimum yang sesuai dengan karakteristik mutu kombucha yang diharapkan yaitu tidak terlalu asam tetapi tetap stabil secara mikrobiologis. Pola tersebut menunjukkan bahwa model kuadratik yang dihasilkan bersifat cekung ke bawah dengan titik stasioner maksimum pada kombinasi variabel optimum.



Gambar 2. Grafik 3D Interaksi Konsentrasi Gula dan Lama Fermentasi Terhadap Total Asam

Berdasarkan pada **Gambar 2**. Dapat dilihat bahwa semakin lama waktu fermentasi dan konsentrasi sukrosa yang digunakan dalam batas optimum akan meningkatkan nilai total asam pada kombucha kulit nanas. Hal ini sejalan dengan proses fermentasi semakin aktif menghasilkan asam-asam organik dari pemecah sukrosa dan fruktosa. Apabila fermentasi melebihi titik optimum, aktivitas mikroba mulai menurun akibat berkurangnya sumber gula dan meningkatnya kadar asam yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan ragi begitu juga jika konsentrasi sukrosa melebihi batas optimum, proses fermentasi menjadi tidak efisien karena tekanan osmotik yang tinggi dalam medium. Oleh karena itu, konsentrasi sukrosa 15% dan lama fermentasi 144 jam ditetapkan sebagai kombinasi perlakuan terbaik dengan nilai total asam sebesar 0,564% dan *desirability* 1.000 yang menunjukkan kondisi optimum berdasarkan hasil analisis *Design Expert 13*.

Area merah pada grafik menunjukkan respon total asam yang tinggi yaitu pada lama fermentasi 211 jam dengan konsentrasi sukrosa 15%. Peningkatan ini disebabkan oleh akumulasi asam-asam organik selama fermentasi yang berlangsung lebih lama, tetapi kondisi ini tidak dijadikan titik optimum karena kadar asam yang terlalu tinggi dapat menurunkan mutu sensori dan kestabilan fermentasi sehingga titik optimum ditetapkan pada lama fermentasi 144 jam dengan konsentrasi sukrosa 15%.

B Penentuan Titik Optimal Respon dan Verifikasi

Berdasarkan analisis menggunakan *Design Expert 13*, titik optimal untuk respon total asam diperoleh pada kombinasi konsentrasi sukrosa sebesar 15% dan lama fermentasi 144 jam dengan nilai prediksi total asam sebesar 0,564% dan nilai *desirability* 1.000 [25]. Nilai *desirability* yang mendekati satu menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan tersebut memenuhi kondisi optimum yang paling sesuai dengan kriteria yang ditentukan oleh model [26]. Titik optimal ini menggambarkan bahwa penambahan gula hingga konsentrasi tertentu dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme dalam SCOBY sedangkan lama fermentasi yang cukup memungkinkan terjadinya konversi gula menjadi asam-asam organik seperti asam asetat, asam glukonat dan asam laktat [27]. Tetapi peningkatan sukrosa dan waktu fermentasi di luar titik optimum dapat menyebabkan penurunan respon total asam akibat menurunnya aktivitas mikroba dan akumulasi asam yang terlalu tinggi dalam medium

Tabel 7. Hasil Prediksi dan Verifikasi Titik Optimum Respon Total Asam

	Konsentrasi Fermentasi (%)	Lama Fermentasi	Total Asam	<i>Desirability</i>	<i>p-value</i>	Keterangan
Prediksi	15	144	0.564	1.000	0.160	Selected

Verifikasi	15	144	0.583	-	-	-
Tingkat Ketepatan (%)			96.64	-	-	-

Verifikasi dilakukan dengan melakukan fermentasi ulang pada kondisi optimum untuk membandingkan hasil aktual dengan nilai prediksi model [28]. Hasil verifikasi menunjukkan nilai total asam aktual sebesar 0,583% dengan selisih sebesar 2,8% terhadap nilai prediksi. Perbedaan yang kecil antara hasil prediksi dan hasil aktual menunjukkan bahwa model *quadratic* yang digunakan memiliki akurasi tinggi dan dapat digunakan untuk memprediksi respon total asam pada fermentasi kombucha kulit nanas secara valid dan reliabel. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kombinasi konsentrasi sukrosa 15% dan lama fermentasi 144 jam merupakan perlakuan terbaik untuk menghasilkan kombucha kulit nanas dengan kadar total asam optimal serta mutu fermentasi yang stabil.

Berdasarkan hasil uji statistic pada table 7, diperoleh nilai *p-value* sebesar 0,160 ($p > 0,05$) yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai total asam hasil prediksi model dengan hasil verifikasi. Hal ini mengindikasikan bahwa model kuadrat yang dihasilkan melalui metode *Response Surface Methodology* (RSM) memiliki tingkat ketepatan yang baik dan mampu memprediksi respon total asam secara akurat. Dengan demikian, model yang digunakan dinyatakan valid dan dapat digunakan untuk menentukan kondisi optimum fermentasi kombucha kulit nanas.

C Karakteristik Kombucha Kulit Nanas Optimum

Kombucha kulit nanas pada kondisi optimum yaitu konsentrasi sukrosa 15% dan lama fermentasi 144 jam menghasilkan nilai total asam sebesar 0,583%, nilai tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung optimal dengan aktivitas mikroorganisme yang efektif dalam mengonversi gula menjadi asam organik. Nilai pH kombucha kulit nanas optimum sebesar 4 yang berada pada kisaran pH normal minuman kombucha [29]. Nilai pH mencerminkan terbentuknya asam organik selama fermentasi serta menunjukkan kestabilan produk fermentasi yang dihasilkan [17].

Hasil analisis total padatan terlarut (TPT) menghasilkan 12,10 menunjukkan terjadinya kenaikan dibandingkan sebelum fermentasi. Kenaikan TPT disebabkan oleh pemanfaatan gula sebagai substrat oleh mikroorganisme selama proses fermentasi yang selanjutnya diubah menjadi etanol dan asam-asam organik [30]. Menurut hasil dari analisis vitamin C kombucha kulit nanas optimum masih mengandung vitamin C sebanyak 1,56% yang berasal dari bahan baku kulit nanas. Kondisi fermentasi pada titik optimum mampu mempertahankan kandungan vitamin C dalam produk fermentasi. Warna yang dihasilkan yaitu L: 55,36, a:4,23, b: 15,78

IV. SIMPULAN

Optimasi proses fermentasi kombucha kulit nanas menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) menghasilkan model *quadratic* yang signifikan dalam menggambarkan hubungan antara konsentrasi gula dan lama fermentasi terhadap respon total asam. Faktor lama fermentasi memberikan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan konsentrasi gula terhadap pembentukan total asam. Kondisi fermentasi optimum diperoleh pada konsentrasi sukrosa 15% dan lama fermentasi 144 jam dengan nilai asam sebesar 0,583% dan *desirability* 1.000. Selain itu, kombucha kulit nanas mengandung vitamin C sebanyak 1,56%, nilai total padatan terlarut (TPT) 12,10 dan warna L:55,37, a:4,23, b: 15,78.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga saya terlebih ibu saya yang selalu mendukung baik moral dan doa serta kaprodi Teknologi Pangan ibu tami yang selalu memberikan masukan, arahan dan dukungan dalam penelitian dan penyusunan laporan. Terima kasih juga kepada para bapak ibu dosen Program Studi Teknologi Pangan Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, terima kasih juga kepada teman-teman yang turut memberikan masukan, semangat dan dukungan dan terima kasih juga sarana dan prasarana Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah berjasa untuk penelitian saya.

REFERENSI

- [1] S. Batubara, "Study on Kombucha Tea From Dragon Fruit Peel Potential as a High-Antioxidant Functional Drink," *Curr. Dev. Nutr.*, vol. 6, 2022, doi: 10.1093/cdn/nzac077.009.
- [2] R. U. Budiandari, R. Azara, R. Adawiyah, and A. E. Prihatiningrum, "Studi karakteristik kimia minuman probiotik kombucha sari kulit nanas (*Ananas comosus*)," *Teknol. Pangan*, 2023, doi: 10.35891/tp.v14i2.3890.
- [3] G. S. P. Kusuma and K. Fibrianto, "Pengaruh Optimasi Lama Fermentasi Terhadap Karakteristik Kombucha Daun Tua Kopi Robusta Dampit Metode Oksidatif Dan Non-oksidatif," *J. Pangan dan Agroindustri*, vol. 6, no. 4, pp. 87–97, 2018, doi: 10.21776/ub.jpa.2018.006.04.10.
- [4] N. R. Rahmadani, "Karakteristik sifat fisika, kimia dan aktivitas antioksidan kombucha dari berbagai varietas buah apel," *J. Teknol. Has. Pertan.*, 2017.
- [5] R. M. Kunda, R. R. Lokollo, P. Utami, H. Jesajas, and M. Moniharapon, "Pelatihan pembuatan minuman probiotik fermentasi dari limbah kulit nanas (*Ananas comosus* L.) di Desa Seruawan," *INDRA*, 2024, doi: 10.29303/indra.v5i2.376.
- [6] S. Hartini, M. N. Cahyanti, D. K. A. Kusumahastuti, I. T. Susilowati, and Y. M. A. Mahardika, "Antioxidant Profile in Pineapple Peel Fermentation by *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus casei*," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10i4.7546.
- [7] D. S. Wahyuningtias, A. S. Fitriana, and D. Nawangsari, "Pengaruh Suhu dan Lama Waktu Fermentasi Terhadap Sifat Organoleptik dan Aktivitas Antioksidan Teh Kombucha Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.)," *Pharm. Genius*, vol. 2, no. 3, 2023, doi: 10.56359/pharmgen.v2i3.297.
- [8] Y. M. R. Sinaga, S. Widyastuti, M. Ma'wa, M. D. Ariyana, K. Yuniarto, and M. Fuadi, "Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Penyimpanan Terhadap Karakteristik Nira Aren," *Pro Food*, vol. 11, no. 1, 2025, doi: 10.29303/profood.v11i1.543.
- [9] F. Rezaldi, M. F. Fadillah, L. D. Agustiansyah, S. A. Tanjung, L. Halimatusyadiah, and E. Safitri, "Aplikasi Metode Bioteknologi Fermentasi Kombucha Buah Nanas Madu (*Ananas comosus*) Subang Sebagai Antibakteri Gram Positif Dan Negatif Berdasarkan Konsentrasi Gula Yang Berbeda," *J. Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: 10.51213/jamp.v6i1.70.
- [10] D. R. Ningsih, V. P. Bintoro, and N. Nurwantoro, "Analisis Total Padatan Terlarut, Kadar Alkohol, Nilai pH dan Total Asam pada Kefir Optima dengan Penambahan High Fructose Syrup (HFS)," *J. Teknol. Pangan*, vol. 2, no. 2, 2018, doi: 10.14710/jtp.2018.20602.
- [11] N. Nurhayati, S. Yuwanti, and A. Urbahillah, "Karakteristik Fisikokimia Dan Sensori Kombucha Cascara (Kulit Kopi Ranum)," *J. Teknol. dan Ind. Pangan*, vol. 31, no. 1, 2020, doi: 10.6066/jtip.2020.31.1.38.
- [12] N.- Rochyani, R. L. Utpalasari, and I. Dahliana, "Analisis Hasil Konversi Eco Enzyme Menggunakan Nenas (*Ananas comosus*) Dan Pepaya (*Carica papaya* L.)," *J. Redoks*, vol. 5, no. 2, 2020, doi: 10.31851/redoks.v5i2.5060.
- [13] Y. A. N. Fitriana and A. S. Fitri, "Analisis Kadar Vitamin C pada Buah Jeruk Menggunakan Metode Titrasi Iodometri," *Sainteks*, vol. 17, no. 1, 2020, doi: 10.30595/sainteks.v17i1.8530.
- [14] E. Zubaidah and C. A. Afgani, "Optimasi proses fermentasi kombucha jahe menggunakan Response Surface Methodology (RSM)," *J. Teknol. dan Ind. Pangan*, vol. 29, no. 2, pp. 123–131, 2018.
- [15] N. B. Fedora and R. U. Budiandari, "Optimasi Proses Pembuatan Kombucha Jahe (*Zingiber officinale* Rosc.) Menggunakan Metode Respon Permukaan," *Compos. J. Ilmu Pertan.*, vol. 7, no. 2, pp. 112–120, 2025, doi: 10.37577/composite.v7i2.884.
- [16] R. U. Budiandari, A. R. Hikmah, S. R. Nurbaya, A. E. Prihatiningrum, and F. N. Indahsari, "Optimasi Proses Pembuatan Kombucha Daun Kelor (*Moringa oleifera* L.): Kajian Konsentrasi Sukrosa dan Lama Fermentasi sebagai Minuman Probiotik Menggunakan Response Surface Methodology," *Agroteknika*, vol. 8, no. 4, pp. 881–893, 2025, doi: 10.55043/agroteknika.v8i4.268.
- [17] R. R. Cardoso, R. O. Neto, and C. T. Dos Santos D'Almeida, "Kombucha from different substrates: Chemical and functional profile," *Food Chem.*, 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132833.
- [18] A. R. Rohman, B. Dwiloka, and H. Rizqiati, "Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Total Asam dan Mutu Kefir Air Kelapa Hijau," *J. Teknol. Pangan*, vol. 3, no. 1, 2019, doi: 10.14710/jtp.2019.23281.
- [19] E. Ivanišová, K. Meňhartová, M. Terentjeva, and et al., "The evaluation of chemical, antioxidant, antimicrobial and sensory properties of kombucha tea beverage," *J. Food Compos. Anal.*, 2020, doi: 10.1016/j.jfca.2019.103555.
- [20] R. U. Budiandari, R. Azara, L. Hudi, and A. Rowihatunnufus, "Aktivitas Antioksidan Minuman Serbuk

- Instan Kombucha Sari Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. Merr),” *J. Teknol. dan Ind. Pertan. Indones.*, vol. 17, no. 1, 2025, doi: 10.17969/jtipi.v17i1.40323.
- [21] F. Rezaldi, M. F. Fadillah, L. D. Agustiansyah, and E. Safitri, “Fermentasi Kombucha Buah Nanas sebagai Antibakteri Berdasarkan Konsentrasi Gula,” *J. Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: 10.51213/jamp.v6i1.70.
- [22] A. J. Marsh, O. O’Sullivan, C. Hill, R. P. Ross, and P. D. Cotter, “Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples,” *Food Microbiol.*, 2014, doi: 10.1016/j.fm.2014.03.003.
- [23] E. Ivanišová, K. Meňhartová, and M. Terentjeva, “Chemical, antioxidant and sensory properties of kombucha beverages prepared with different substrates,” *Foods*, vol. 13, no. 2, p. 412, 2024, doi: 10.3390/foods13020412.
- [24] L. Ayed, S. Ben Abid, and M. Hamdi, “Development of a beverage from red grape juice fermented with the Kombucha consortium,” *Ann. Microbiol.*, 2017, doi: 10.1007/s13213-016-1232-9.
- [25] A. Singh, V. Sharma, and R. Kumar, “Optimization of fermentation of Himalayan black tea beverage using response surface methodology,” *J. Food Eng.*, 2025, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2025.111245.
- [26] D. Pratiwi and E. Zubaidah, “Optimization of ginger kombucha manufacturing process using response surface methodology,” *Compos. J. Ilmu Pertan.*, 2025.
- [27] G. Cohen and D. A. Sela, “Sucrose Concentration and Fermentation Temperature Impact the Sensory Characteristics and Liking of Kombucha,” *Foods*, vol. 12, no. 16, p. 3116, 2023, doi: 10.3390/foods12163116.
- [28] L. T. Phung *et al.*, “Changes in the chemical compositions and biological properties of kombucha beverages made from black teas and pineapple peels and cores,” *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 7859, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-34954-7.
- [29] R. Jayabalan, R. Malbaša, E. Lončar, and J. Vitas, “A Review on Kombucha Tea—Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2014, doi: 10.1111/1541-4337.12073.
- [30] R. Jayabalan, R. V Malbaša, and E. S. Lončar, “Optimization of Kombucha Tea Fermentation Conditions Using Response Surface Methodology,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 38, no. 3, pp. 1342–1350, 2014, doi: 10.1111/jfpp.12099.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

DOKUMENTASI

