

**ISSN (ONLINE) 2598-9936**



**INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES**  
PUBLISHED BY  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

## Table Of Contents

<b>Journal Cover</b> .....	1
<b>Author[s] Statement</b> .....	3
<b>Editorial Team</b> .....	4
<b>Article information</b> .....	5
Check this article update (crossmark) .....	5
Check this article impact .....	5
Cite this article.....	5
<b>Title page</b> .....	6
Article Title .....	6
Author information .....	6
Abstract .....	6
<b>Article content</b> .....	7

## Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

## Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

# Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 26 No. 4 (2025): October  
DOI: 10.21070/ijins.v26i4.2105

## EDITORIAL TEAM

### Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

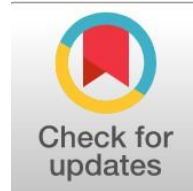
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

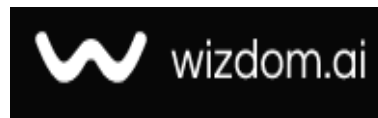
How to submit to this journal ([link](#))

## Article information

**Check this article update (crossmark)**



**Check this article impact (\*)**



**Save this article to Mendeley**



(\*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

# Optimization of Shrimp Cracker Drying Parameters Using RSM and RCA: Optimasi Parameter Pengeringan Kerupuk Udang Menggunakan RSM dan RCA

Muhammad Faisal Andreyanto, [wiwik@umsida.ac.id](mailto:wiwik@umsida.ac.id) (\*)

*Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia*

Wiwik Sulistiyowati, [wiwik@umsida.ac.id](mailto:wiwik@umsida.ac.id)

*Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia*

(\*) Corresponding author

## Abstract

**General Background** Shrimp cracker production requires strict quality control, particularly in moisture content, which determines texture, shelf life, and defect occurrence. **Specific Background** In industrial practice, defects such as mold growth remain a critical issue due to suboptimal drying and process control conditions. **Knowledge Gap** Previous studies have not fully integrated process optimization and root cause identification to address both quality parameters and defect sources simultaneously. **Aims** This study aims to optimize drying parameters and identify root causes of defects using Response Surface Methodology (RSM) and Root Cause Analysis (RCA). **Results** The optimal conditions were obtained at a temperature of 70°C, drying time of 60 minutes, and thickness of 5 mm, producing a moisture content of 9.00% with a desirability value of 1.00. RCA findings indicate that mold defects are caused by high raw material moisture, inadequate storage conditions, and limited production supervision. **Novelty** This study integrates RSM-based parameter optimization with RCA-based defect analysis within a single framework. **Implications** The results provide practical recommendations for improving production control, reducing defects, and maintaining consistent product quality in shrimp cracker manufacturing.

**Keywords:** ShrimpCracker, ProcessOptimization, MoistureContent, ResponseSurfaceMethodology, Root Cause Analysis

### Key Findings Highlights

Optimal drying parameters identified through statistical modeling approach

Major defect source linked to raw material and process control conditions

Integrated analytical framework supports systematic quality improvement

Published date: 2026-04-30

## I. Pendahuluan

Kerupuk udang adalah salah satu makanan tradisional yang digemari di pasar domestik dan internasional. Proses produksi kerupuk udang melibatkan berbagai tahapan kritis, seperti penggilingan bahan, pembentukan, pengeringan, dan pengemasan, yang masing-masing memiliki dampak signifikan terhadap kualitas akhir produk. Keberhasilan dapat ditentukan oleh kualitas makanan, faktor utama yang terdeteksi oleh indera penciuman dan dua faktor lainnya, yaitu aroma, rasa, serta sensasi di mulut, dapat dirasakan oleh sel-sel sensorik di lidah [1](#). PT. XYZ menghadapi tantangan serius dalam menjaga kualitas produknya. Salah satu masalah utama adalah pertumbuhan jamur pada adonan kerupuk yang terjadi sebelum proses pengeringan di oven. Kecacatan produk berupa jamur ini tidak hanya menurunkan kualitas produk, meningkatkan risiko kehilangan produksi dan potensi kehilangan penjualan pada pasar lokal. Perusahaan menentukan batas kecacatan yang optimal adalah 3-5%.

Produk cacat adalah produk yang tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Ini juga berarti produk tersebut tidak sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan. Produk cacat yang muncul selama proses produksi merujuk pada produk yang tidak dapat diterima oleh konsumen. Namun, dengan mengeluarkan biaya untuk perbaikan, produk yang tidak memenuhi standar mutu tersebut dapat diperbaiki secara ekonomis sehingga menjadi produk yang lebih baik [2](#).

Proses produksi kerupuk udang di PT. Krispi Industri Indonesia, memiliki beberapa jenis kecacatan produk. Pada bulan Juli, dari total produksi sebesar 2.500 kg, jumlah kecacatan mencapai 112,5 kg, setara dengan 4,5%. Pada bulan Agustus, produksi meningkat menjadi 2.800 kg dengan jumlah kecacatan sebesar 117,6 kg (4,2%). Pada bulan September, tingkat kecacatan meningkat tajam hingga 7,2% (187,2 kg dari total produksi 2.600 kg). Pertumbuhan jamur menjadi penyebab dominan kecacatan produk, diikuti oleh warna yang tidak merata dan produk yang pecah.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengoptimalkan proses produksi kerupuk udang. Selain itu, penelitian ini juga menerapkan *Root Cause Analysis* (RCA) untuk mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab permasalahan dalam proses produksi, khususnya faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kecacatan produk. Dengan kombinasi RSM dan RCA, diharapkan solusi yang dihasilkan tidak hanya bersifat optimasi proses, tetapi juga mencakup perbaikan sistematis dalam produksi untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi.

Berbagai penelitian sebelumnya telah dikaji untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan, termasuk di dalamnya

terdapat penelitian kholisoh menemukan bahwa kondisi optimal untuk menghasilkan asap cair dari tempurung kelapa menggunakan metode dan *Response Surface Methodology* (RSM) menunjukkan bahwa variabel proses mempunyai pengaruh yang signifikan 3. Penelitian yang dilakukan sugiharto penerapan metode *Root Cause Analysis* (RCA) memberikan efek yang baik dalam mengidentifikasi dan memahami penyebab utama cacat produksi mengungkap faktor utama penyebab cacat produksi, terutama jenis cacat patah yang mencapai 88% 4. Penelitian yang dilakukan anwar menggunakan metode RSM terbukti akurat dengan tingkat keakuratan sebesar 97,76%, menunjukkan bahwa model ini dapat diandalkan untuk prediksi optimalisasi ekstraksi. Penelitian ini memberikan informasi penting dalam pengolahan modern pasak bumi untuk mendapatkan hasil ekstraksi yang lebih maksimal dan efisien 5.

Tujuan penelitian : (1) Untuk mengidentifikasi dan mengukur faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas kerupuk udang. (2) Untuk mengoptimalkan variabel respon terkait kualitas produk menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM). (3) Menyusun rekomendasi praktis untuk perusahaan dalam mengimplementasikan hasil penelitian guna meningkatkan proses produksi dan kualitas kerupuk udang.

## II. Metode

Teknik pengumpulan data adalah metode yang digunakan untuk mengakumulasi informasi dalam suatu penelitian. Dalam penelitian ini, data yang digunakan mencakup data primer dan data sekunder. Pada pengumpulan data primer, peneliti melakukan observasi terhadap beberapa variabel penting seperti ketebalan kerupuk, suhu oven, dan waktu. Selain itu, wawancara dilakukan dengan pihak-pihak yang relevan, termasuk kepala produksi dan manager produksi untuk mendapatkan informasi mendalam terkait proses produksi dan pengelolaan bahan. Data sekunder yang dikumpulkan mencakup informasi historis mengenai jumlah cacat produk di PT. XYZ. Dan informasi mengenai pemanfaatan bahan berjamur dari proses produksi kerupuk udang yang dapat diolah menjadi pupuk dan tepung melalui proses sterilisasi dengan suhu oven 200 °C selama 1 jam yang selanjutnya dilakukan spenggilangan.

### A. *Response Surface Methodology* (RSM)

Metode *Response Surface Methodology* (RSM) adalah teknik optimasi empiris yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel output eksperimen dengan berbagai faktor, seperti X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, dan seterusnya. Metode ini umumnya diterapkan bersama desain faktorial, seperti *Box-Behnken* dan *Central Composite Design* (CCD). Tujuan utama RSM adalah mengarahkan eksperimen secara efisien menuju kondisi optimal. Setelah kondisi optimal teridentifikasi, model yang lebih kompleks, seperti model orde kedua, dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut guna menentukan titik optimal secara lebih akurat [7].

Dalam penelitian ini, peneliti menerapkan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengoptimalkan dan mengendalikan kualitas produk kerupuk udang. Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk pengolahan data adalah MINITAB. Keunggulan MINITAB antara lain memiliki paket analisis data yang fleksibel, dilengkapi dengan menu *assistant* yang memudahkan pemula dalam mempelajari proses.

1. RSM adalah untuk mengoptimalkan respon tersebut. Metode ini berfungsi sebagai alat optimasi, yaitu dengan mengatur nilai variabel independen atau faktor-faktor yang berpengaruh agar dapat diperoleh nilai respon yang optimal [8]. Rancangan eksperimen dapat dikatakan optimal jika:

a. Uji ANOVA ini akan mengidentifikasi dua efek linier, satu efek interaksi, dan dua efek kuadratik. Parameter yang diperhatikan dalam uji ini adalah *p-value*, dengan kriteria pengujian: jika  $p\text{-value} \leq \alpha$  (0,5), maka nilai tersebut memiliki pengaruh yang signifikan [5].

b. Uji kesesuaian model (*lack-of-fit*) dapat dievaluasi melalui nilai *lack-of-fit*. Jika  $p\text{-value} \leq$  taraf signifikansi (0,05), maka model respon dianggap tidak valid, sedangkan jika lebih besar, model dapat diterima [5].

Jika model memenuhi kriteria ini, parameter optimal dapat diuji dan diterapkan. Namun, jika tidak, langkah-langkah perbaikan seperti memperluas level variabel, rancang ulang desain eksperimen perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas model dan hasil eksperimen.

### 2. Variabel penelitian dan level faktor

pemilihan variabel dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses produksi kerupuk udang serta kualitas produk akhir yang dihasilkan. Faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan variabel independen yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap jalannya penelitian dan hasil akhir yang diinginkan. Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel utama yaitu suhu oven, waktu pengovenan, dan ketebalan produk serta variabel respon yaitu kadar air.

**Tabel 1.** Penentuan Faktor Level.

Jenis Variabel		Variabel	Simbol	Level		
				Lo w (-1)	Mid (0)	Hig h (+1)
Variable Independen (Faktor)		Suhu Oven (°C)	X <sub>1</sub>	65 °C	70 °C	75 °C
		Waktu Pengovenan (menit)	X <sub>2</sub>	50 menit	55 menit	60 menit
		Ketebalan (mm)	X <sub>3</sub>	5 mm	5,5 mm	6 mm
Variable (Respon)	Dependen	Kadar Air				

### 3. Rancangan percobaan

Metode yang diterapkan untuk rancangan percobaan adalah *Response Surface Methodology* (RSM), dengan menggunakan *box-bhenken*. Hasilnya bisa dilihat pada tabel 2 berikut:

**Tabel 2.** Perancangan Percobaan.

Std.	Ru	Matriks	Asli
------	----	---------	------

er	Ord	n	Ord	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
	12	1	1	0	1	1	70	60	6
	9	2	2	0	-1	-1	70	50	6
	3	3	3	-1	1	0	65	60	5.5
	4	4	4	1	1	0	75	60	5.5
	8	5	5	1	0	1	75	55	6
	5	6	6	-1	0	-1	65	55	5
	7	7	7	-1	0	1	65	55	6
	10	8	8	0	1	-1	70	60	5
	11	9	9	0	-1	1	70	50	6
	6	10	10	1	0	-1	75	55	5
	2	11	11	1	-1	0	75	50	5.5
	14	12	12	0	0	0	70	55	5.5
	15	13	13	0	0	0	70	55	5.5
	1	14	14	-1	-1	0	65	50	5.5
	13	15	15	0	0	0	70	55	5.5

Berdasarkan Tabel di atas, diketahui rancangan percobaan menggunakan *software* MINITAB 21 dengan menggunakan *box-bhenken*.

4. Persamaan Regresi

RSM menggunakan persamaan regresi untuk menganalisis hubungan antara variabel independen dan respons yang diamati [9]. Dengan pendekatan ini, RSM dapat memodelkan serta mengoptimalkan suatu proses melalui persamaan regresi polinomial, menggunakan model yang digunakan adalah polinomial orde dua dalam penerapan metode RSM dan dirumuskan sebagai berikut [10]:

1) Persamaan regresi

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_j x_j + \sum \beta_{jj} x_j^2 + \sum \beta_{jk} x_j x_k + e \tag{1}$$

Sumber: [5].

Keterangan:

- Y = variabel dependen
- x<sub>j</sub> dan x<sub>k</sub> = variabel independen
- β<sub>0</sub> = konstanta
- β<sub>j</sub> = koefisien regresi linier
- β<sub>jj</sub> = koefisien regresi kuadratik
- β<sub>jk</sub> = koefisien regresi interaksi antara faktor i dan j
- e = error

5. Pengujian koefisien determinasi (R<sup>2</sup>)

Koefisien determinasi adalah ukuran statistik yang menggambarkan sejauh mana variabel bebas (X) mempengaruhi variabel terikat (Y). Nilai koefisien determinasi berkisar antara 0 hingga 1 (0 ≤ R<sup>2</sup> ≤ 1). Semakin mendekati 1, semakin kuat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Sebaliknya, jika R<sup>2</sup> mendekati 0, maka hubungan antara kedua variabel tersebut semakin lemah atau bahkan tidak ada [11]. Berikut ini persamaannya:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \tag{2}$$

Sumber: [11],[12],[13].

Keterangan:

- Y<sub>i</sub> = nilai aktual dari respon
- Ŷ<sub>i</sub> = nilai prediksi
- ȳ<sub>i</sub> = mean dari nilai respon

6. Contour plot dan surface plot

Contour plot merupakan sebuah kurva yang digambarkan dalam koordinat x<sub>i</sub>, x<sub>j</sub> dengan respon berupa gradien. Setiap contour merepresentasikan ketinggian yang berbeda, tergantung pada nilai respon yang dihasilkan. Perbedaan ketinggian ini mencerminkan variasi dalam data atau parameter yang dipetakan [9]. Surface plot menyajikan hubungan antara variabel dalam bentuk grafik tiga dimensi. Tujuan utama dari surface plot adalah membantu memvisualisasikan besarnya respon terhadap setiap perlakuan yang berbeda, yang ditampilkan melalui kelengkungan pada permukaan plot [14].

7. Desirability

Fungsi desirability adalah suatu transformasi geometrik yang mengubah nilai respon menjadi rentang antara 0 hingga 1. Nilai ini mencerminkan sejauh mana respon mendekati target yang ditetapkan. Respon yang sangat dekat dengan nilai target akan memiliki nilai desirability sebesar satu. Sebaliknya, jika respon berada di luar rentang target yang telah ditentukan, maka nilai desirability-nya akan menjadi nol [15]. Fungsi total desirability tersebut diberikan pada Persamaan berikut:

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_k)^{1/k} \tag{3}$$

Sumber: [15],[16].

Keterangan:

- d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> = nilai desirability individu untuk setiap respon
- K = jumlah respon yang dioptimasi

8. Validasi model

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil prediksi yang diperoleh dari metode Response Surface Methodology (RSM) sesuai dengan hasil eksperimen nyata. Dalam penelitian ini, validasi dilakukan dengan melakukan tiga kali percobaan pada kombinasi variabel suhu, waktu pengovenan, dan ketebalan kerupuk. Tingkat kadar air akhir dapat dihitung menggunakan persamaan ini.

$$KA = \frac{W_b - W_k}{W_b} \tag{4}$$

Sumber: [17].

Keterangan:

KA = kadar air bahan basah (%)

Wb = berat bahan basah (gram)

Wk = berat bahan kering (gram)

## B. Root Cause Analysis (RCA)

Analisis akar penyebab atau *Root Cause Analysis* (RCA) adalah suatu metode investigasi yang terstruktur dengan tujuan mengidentifikasi faktor-faktor utama yang menyebabkan terjadinya suatu masalah. Dengan mengetahui akar penyebabnya, dapat diterapkan solusi yang efektif untuk mencegah masalah serupa terjadi kembali di masa depan, pada identifikasi akar permasalahan disini menggunakan *fishbone diagram* [18]. RCA bertujuan untuk menyelidiki insiden, permasalahan, kekhawatiran, atau ketidaksesuaian yang telah teridentifikasi. Proses ini mengharuskan peneliti menemukan solusi terhadap permasalahan yang mendesak serta memahami faktor utama atau penyebab mendasar dari situasi tersebut [19].

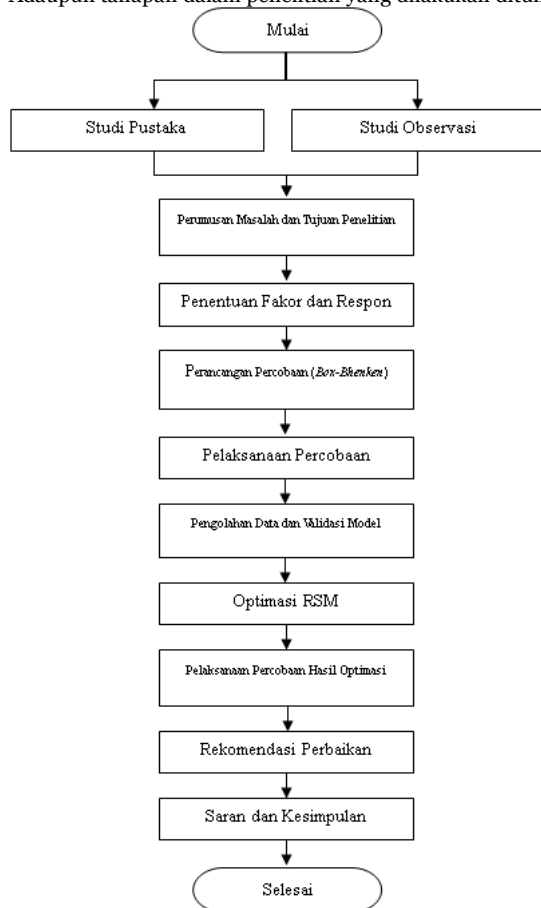
### 1. Fishbone Diagram

Diagram Fishbone (tulang ikan) merupakan alat yang digunakan untuk menggambarkan suatu permasalahan beserta berbagai faktor penyebabnya. Dalam diagram ini, dampak atau akibat dari suatu masalah digambarkan pada bagian kepala ikan, sementara faktor-faktor penyebabnya disusun di sepanjang tulang ikan sesuai dengan pendekatan analisis masalah. Disebut juga sebagai diagram Cause and Effect (sebab dan akibat), karena menunjukkan keterkaitan antara penyebab dan konsekuensinya. Dalam konteks pengendalian proses statistik, diagram ini digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi suatu karakteristik kualitas serta memahami bagaimana faktor-faktor tersebut berkontribusi terhadap hasil akhir [20].

### 2. 5-whys

Metode *5-whys* adalah teknik paling sederhana dalam analisis akar penyebab yang terstruktur. Metode ini melibatkan serangkaian pertanyaan untuk menggali dan memahami hubungan yang mendasari suatu permasalahan. Teknik ini digunakan sebagai pendekatan dalam mengelola kesalahan, permasalahan, atau cacat, sehingga dapat membantu menemukan solusi serta mengarahkan fokus pada upaya penyelesaian masalah secara efektif [21].

Adapun tahapan dalam penelitian yang dilakukan ditunjukkan oleh diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian.

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa penelitian ini diawali dengan studi observasi dan studi pustaka untuk memahami kondisi awal serta mencari referensi yang mendukung penelitian. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dilakukan pembahasan masalah dan penentuan tujuan penelitian agar penelitian memiliki fokus yang jelas. Selanjutnya dilakukan penentuan faktor dan respon. Data yang telah diperoleh membuat rancangan percobaan. Setelah itu pelaksanaan percobaan. Langkah selanjutnya pengolahan dan validasi model. Jika model yang dihasilkan belum sesuai, maka dilakukan optimasi menggunakan RSM. Hasil yang dihasilkan optimasi selanjutnya dilakukan percobaan untuk melihat perbedaan antar sesudah dan sebelum optimasi. Untuk rekomendasi perbaikan menggunakan *root cause analysis* untuk melihat penyebab dari berbagai faktor.

## III. Hasil dan Pembahasan

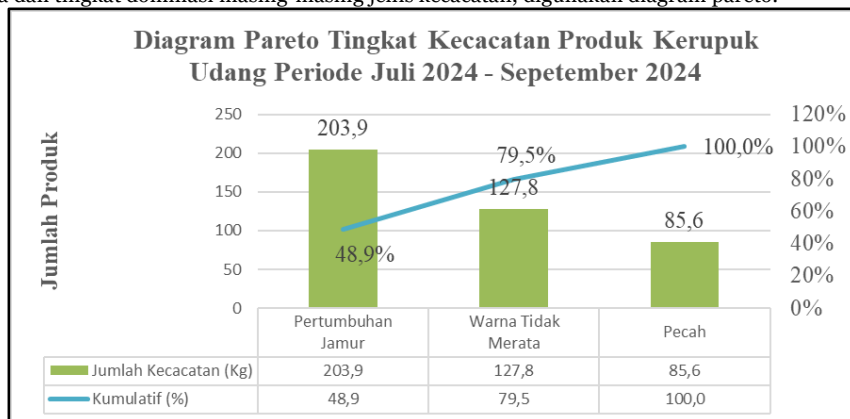
### A. Analisis Produksi dan Kecacatan Produk

Analisis jumlah produksi kerupuk udang serta jumlah kecacatan yang terjadi selama proses produksi dengan rentan waktu mulai bulan juli 2024 hingga september 2024. Data yang diperoleh mencakup jumlah yang diproduksi jumlah kecacatan, persentase kecacatan, serta jenis kecacatan yang terjadi selama proses produksi. Data ini digunakan untuk efektivitas proses produksi serta mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kecacatan produk. Berikut ini data produksi dan kecacatan pada tabel 1.

**Tabel 3.** Data Produksi dan Kecacatan.

No	Bulan	Jumlah Produksi (Kg)	Jumlah Kecacatan (Kg)	Presentase (%)	Kecacatan (Kg)		
					Pertumbuhan Jamur	Warna tidak Merata	Pecah
1	Juli	2.500	112,5	4,50 %	39,5	40,4	32,6
2	Agustus	2.800	117,6	4,20 %	50,4	44,8	22,4
3	September	2.600	187,2	7,20 %	114	42,6	30,6
	Total	7.900	417,3	5,28 %	203,9	127,8	85,6

Jenis kecacatan yang diamati dalam penelitian ini meliputi pertumbuhan jamur, warna tidak merata, dan produk pecah. Untuk memahami pola dan tingkat dominasi masing-masing jenis kecacatan, digunakan diagram pareto.



**Gambar 2.** Diagram Pareto Tingkat Kecacatan Produk

Berdasarkan gambar 2, diagram pareto menunjukkan bahwa jenis kecacatan dengan frekuensi tertinggi adalah pertumbuhan jamur, yang mencapai 203,9 kg. Selanjutnya, kecacatan akibat warna tidak merata tercatat sebanyak 123,8 kg, dan kecacatan produk pecah sebesar 85,6 kg. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa pertumbuhan jamur merupakan jenis kecacatan utama yang perlu mendapat prioritas dalam upaya perbaikan, mengingat kontribusinya yang paling besar terhadap total kecacatan produk.

Berdasarkan Tabel di atas, batas bawah dan batas atas untuk setiap variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: suhu oven memiliki rentang 65°C hingga 75°C, ketebalan produk berkisar antara 5 mm hingga 6 mm, dan waktu pengovenan berada dalam kisaran 50 menit hingga 60 menit. Nilai-nilai ini akan diinput ke dalam software MINITAB 21 untuk analisis dan optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM).

### B. Analisis Data

Eksperimen yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu, durasi, dan ketebalan terhadap kadar air telah dilakukan berdasarkan kombinasi yang dirancang dalam rancangan percobaan. Dilihat pada tabel berikut ini

**Tabel 4.** Hasil Percobaan.

R un O rder	S uhu (°C)	Wa ktu (menit)	Keteb alan (mm)	Ka dar Ai r (%)
1				8,3
2	0	1	1	2
3	0	-1	-1	2
4	-1	1	0	4
5	1	1	0	5
6	1	0	1	2
7	-1	0	-1	8
8	-1	0	1	1
9	0	1	-1	04
10	0	-1	1	7
11	1	0	-1	86
12	1	-1	0	3
13	0	0	0	40
	0	0	0	25

14					9,
	-1	-1	0		80
15					8,5
	0	0	0		4

### 1. Uji ANOVA

Analisis uji ANOVA dilakukan untuk memunculkan pengaruh serta interaksi antara variabel dalam proses produksi terhadap respon yang diukur. Dengan pendekatan ini, dapat diidentifikasi faktor-faktor yang memiliki dampak signifikan, baik secara individu maupun dalam kombinasi, sehingga memberikan pemahaman yang lebih mendalam.

**Tabel 4.** *Output Analysis of Variance (ANOVA).*

<i>Source</i>	<i>P-Value</i>
<i>Model</i>	0,000
<i>Linear</i>	0,010
Suhu	0,008
Waktu	0,022
Ketebalan	0,607
<i>Square</i>	0,001
Suhu*Suhu	0,001
Waktu*Waktu	0,001
Ketebalan*Ketebalan	0,101
<i>2-Way Interaction</i>	0,020
Suhu*Waktu	0,018
Suhu*Ketebalan	0,024
Waktu*Ketebalan	0,106
<i>Error</i>	0,963
<i>Lack-of-Fit</i>	
<i>Pure Error</i>	

Berdasarkan hasil analisis ANOVA, dengan kriteria pengujian nilai *p-value* ≤ α (0,5), maka nilai tersebut memiliki pengaruh yang signifikan. Faktor individu seperti suhu, waktu, dan ketebalan berpengaruh signifikan

### 2. Uji Lack-of-Fit

Uji *lack-of-fit* dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian model yang dihasilkan. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a.  $H_0$  : tidak ada *lack-of-fit* dalam model.
- b.  $H_1$  : ada *lack-of-fit* dalam model.

Dalam pengujian *lack-of-fit*, hipotesis nol ( $H_0$ ) akan ditolak jika nilai *p-value* lebih kecil dari tingkat signifikansi α (0,05). Sebaliknya, jika *p-value* lebih besar dari α, maka hipotesis nol diterima [22]. Berdasarkan data pada tabel 4, diperoleh nilai *p-value* untuk uji *lack-of-fit* sebesar 0,095. Karena nilai *p-value* lebih besar dari 0,05, dapat disimpulkan bahwa model tidak mengalami *lack-of-fit*, sehingga model yang dihasilkan dianggap sesuai.

### 3. Persamaan Regresi

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan *software* MINITAB, diperoleh persamaan regresi yang menggambarkan hubungan antara suhu, ketebalan, dan waktu pengovenan terhadap kadar air. Persamaan ini menunjukkan sejauh mana setiap variabel berkontribusi dalam mempengaruhi kadar air pada kerupuk udang.

$$Y = 97,8 - 1,568X_1 - 1,258X_2 + 2,10X_3 + 0,01606X_1^2 + 0,01827X_2^2 + 0,477X_3^2 - 0,00720X_1X_2 - 0,0670X_1X_3 - 0,0561X_2X_3$$

Keterangan:

Y = Kadar air

$X_1$  = Suhu

$X_2$  = Waktu

$X_3$  = Ketebalan

Persamaan regresi menunjukkan bahwa suhu, waktu, dan ketebalan berpengaruh terhadap kadar air kerupuk udang, dengan ketebalan memiliki dampak paling signifikan. Hubungan kuadratik mengindikasikan adanya titik optimum, di mana pada kondisi tertentu, kadar air tidak lagi berkurang secara linear. Interaksi antarvariabel menunjukkan bahwa kombinasi suhu, waktu, dan ketebalan dapat mempercepat atau memperlambat pengurangan kadar air. Model ini dapat digunakan untuk menentukan parameter optimal dalam proses pengeringan guna mencapai kadar air yang diinginkan.

**Tabel 5.** *Output Model Summary.*

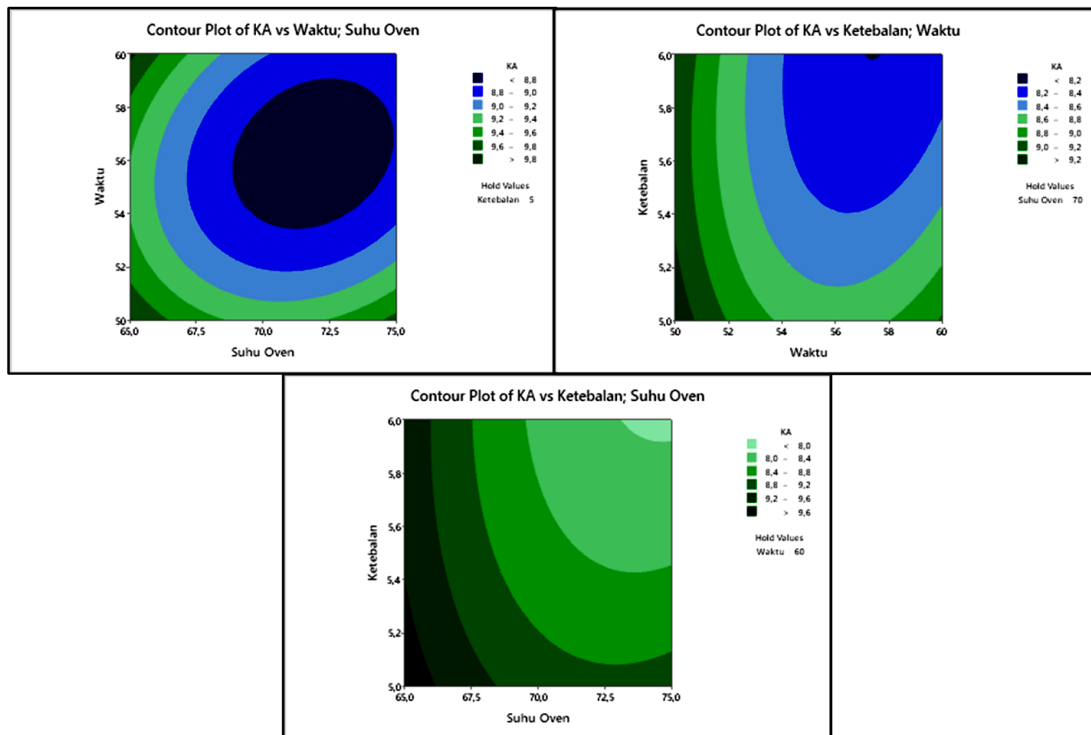
<i>Model Summary</i>			
S	R	R-	R-
	-sq	sq(adj)	sq(pred)

0,10	9	96,2	90,4
4554	8,65 %	3%	6%

Berdasarkan Tabel 5, nilai koefisien determinasi  $R^2$  (*R-squared*) sebesar 98,65% menunjukkan bahwa kadar air pada kerupuk udang dipengaruhi oleh suhu, ketebalan, dan waktu pengovenan. Sementara itu, sisanya sebesar 1,35% dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak diamati dalam penelitian ini. Nilai koefisien determinasi berganda ( $R^2$ ) berkisar antara 0 hingga 100%. Semakin mendekati 100%, semakin baik model tersebut dalam menjelaskan variasi data yang diamati [23].

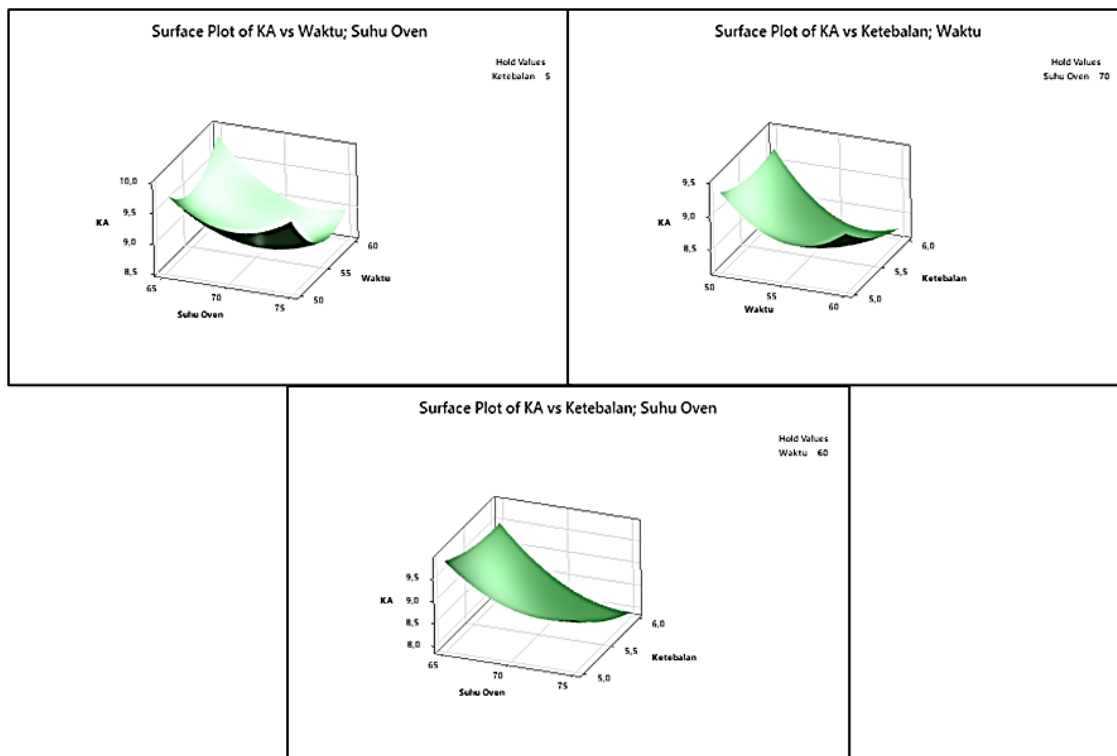
#### 4. Analisis *Contour plot* dan *Surface Plot*

Pada tahap ini, dilakukan analisis menggunakan *contour plot* dan *surface plot* untuk memahami hubungan antara variabel bebas, yaitu suhu, waktu pengovenan, dan ketebalan kerupuk udang, terhadap variabel respon berupa kadar air



**Gambar 3.** Grafik *Contour plot* Optimalisasi Suhu, Waktu, dan Ketebalan Terhadap Kadar Air.

Pada gambar 3 analisa *contour plot* ini, parameter yang digunakan adalah kadar air. Analisis pertama dilakukan untuk menentukan ketebalan optimal sebesar 5 mm, menggunakan *contour plot* yang menghubungkan variabel waktu dan suhu, di mana rentang waktu optimal berada antara 53 - 59 menit dan suhu 69 - 74°C untuk mendapatkan kadar air <8,8%. Selanjutnya analisis dilakukan untuk memperoleh suhu optimal 70°C, menggunakan *contour plot* yang menghubungkan variabel ketebalan dan waktu, dengan rentang ketebalan optimal 5,4 - 6,0 mm dan waktu 54 - 60 menit untuk mendapatkan kadar air 8,2 - 8,4%. Selanjutnya analisis bertujuan untuk menentukan waktu optimal 60 menit, dengan menggunakan *contour plot* yang menghubungkan variabel ketebalan dan suhu, di mana jarak ketebalan optimal berada antara 5,4 - 6,0 mm dan suhu 69,5 - 75°C untuk mendapatkan kadar air 8,0 - 8,4%.



**Gambar 4.** Grafik *Surface Plot* Optimalisasi Suhu, Waktu, dan Ketebalan Terhadap Kadar Air.

Pada gambar 4 analisa grafik *surface plot* yang dimana hampir semua grafik membentuk cekungan (*concave*) berarti bahwa pada kombinasi tertentu dari faktor-faktor yang diuji, terdapat nilai optimal yang menghasilkan kadar air (KA) terendah sebelum meningkat kembali. Pada *plot* hubungan waktu dan suhu, grafik menunjukkan kadar air yang menurun seiring peningkatan suhu dan waktu hingga titik minimum, lalu meningkat kembali. Kombinasi optimal untuk kadar air terendah diperkirakan pada suhu 70-72°C dan waktu 55-58 menit. Selanjutnya, *plot* hubungan ketebalan dan waktu, kadar air menurun seiring bertambahnya waktu proses. Kombinasi ketebalan 5,2-5,8 mm dan waktu 55-60 menit menjadi pilihan ideal untuk kadar air rendah. Selanjutnya, *plot* hubungan ketebalan dan suhu, titik minimum kadar air terjadi pada ketebalan 5,0-5,8 mm dan suhu 65-70°C. Di luar kisaran ini, kadar air cenderung meningkat kembali.

**5. Optimasi RSM**

Data hasil penelitian yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis menggunakan software MINITAB untuk mendapatkan optimasi melalui metode *Response Surface Methodology* (RSM). Proses ini memungkinkan identifikasi pola dan hubungan antara variabel, sehingga dapat menghasilkan solusi optimal yang lebih akurat dan efisien.

**Tabel 6.** Optimasi *Response Surface Methodology* (RSM) Kadar Air Menggunakan MINITAB.

Solution						
Solution	Suhu	Waktu	Ketebalan	Kadar Air	Fit	Composite Desirability
1	70	60	5	9,00		1,00000

Berdasarkan hasil optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM), kondisi optimal yang diperoleh adalah suhu 70°C, waktu 60 menit, dan ketebalan 5 mm. Pada kondisi ini, kadar air (KA) yang dihasilkan adalah 9,00%, dengan nilai *composite desirability* mencapai 1,00, yang menunjukkan bahwa kondisi tersebut merupakan solusi optimal. Dengan nilai *desirability* sebesar 1 yang dimana semakin tinggi nilai *desirability* mendekati 1, semakin baik kemampuan program dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan harapan secara optimal [5].

**6. Konfirmasi Hasil Optimasi RSM**

Obyek pengukuran yang digunakan dalam validasi ini adalah kadar air kerupuk udang. Dalam validasi ini, dilakukan tiga kali replikasi pada kombinasi suhu 70°C, waktu 60 menit, dan ketebalan 5 mm, dengan setiap uji coba menggunakan potongan kerupuk seberat 10 gram. Hasil pengukuran kadar air dari percobaan tersebut dibandingkan dengan hasil prediksi RSM untuk mengevaluasi kesesuaian model.

$$KA = \frac{Wb - Wk}{Wb}$$

$$KA = \frac{(10 - 9,084)}{10}$$

$$KA = \frac{0,916}{10}$$

$$KA = 0,0916 \times 100$$

$$KA = 9,16 \%$$

**Tabel 7.** Hasil Percobaan untuk Konfirmasi Hasil Model RSM.

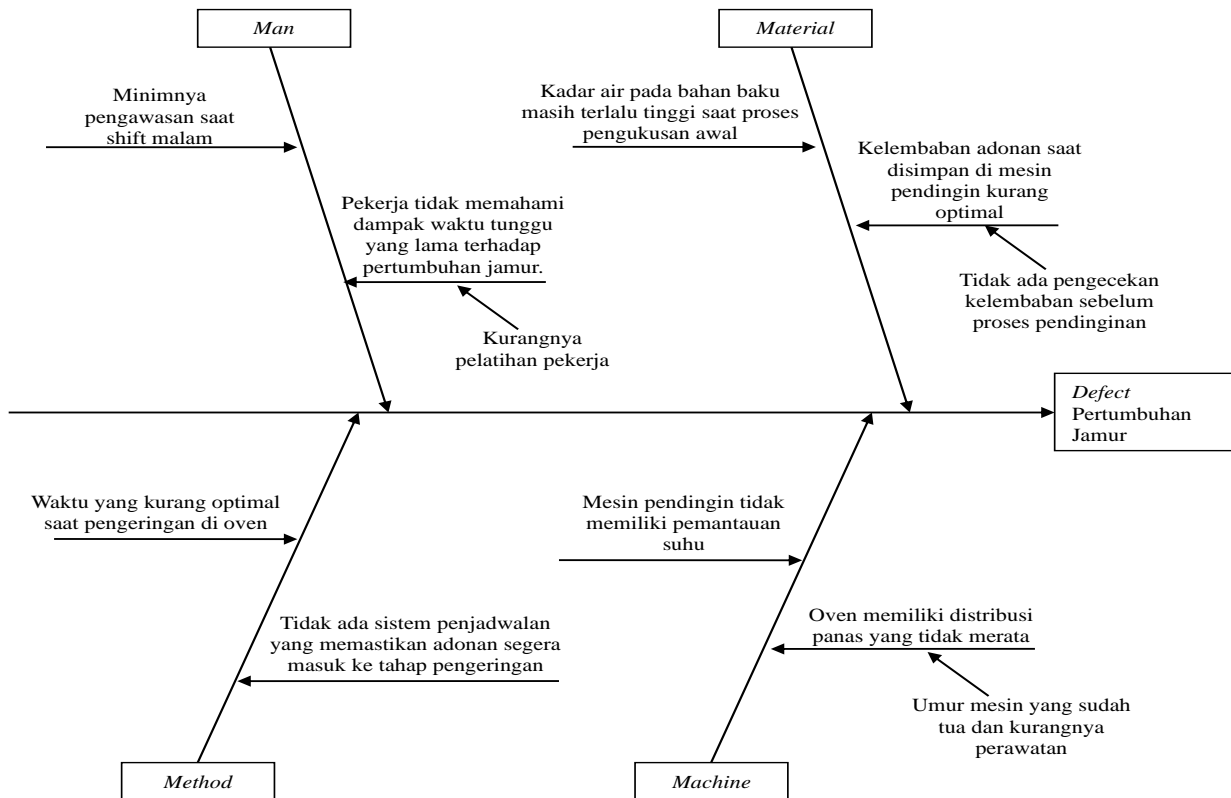
Suhu (°C)	Waktu (menit)	Ketebalan (mm)	Uji Percobaan KA (%)		
			1	2	3

70	60	5	9,16	8,94	9,02
----	----	---	------	------	------

Berdasarkan tabel 7, diperoleh nilai kadar air yang memiliki kesamaan dengan hasil prediksi RSM. hal ini didukung oleh hasil uji statistik (*One Sample T-Test*), yang menunjukkan nilai *P-value* 0,597 > *Sig* (0,05) yang berarti bahwa Tidak ada perbedaan antara hasil optimasi prediksi menggunakan RSM dan hasil percobaan [24].

**C. RCA (Root Cause Analysis)**

Berikut adalah analisis akar penyebab menggunakan *fishbone diagram* dan metode *5-whys* untuk *defect* pertumbuhan jamur yang memiliki *defect* paling dominan. Pendekatan ini digunakan untuk mengolah data secara sistematis guna mengidentifikasi akar penyebab utama dari *defect* tersebut, sehingga dapat dilakukan tindakan perbaikan yang tepat.



Gambar 5. Fishbone Diagram.

**1. Analisa Menggunakan 5-Whys Method**

Setelah menganalisis akar permasalahan dari setiap kejadian menggunakan *fishbone diagram*, langkah selanjutnya adalah menentukan faktor utama yang menyebabkan *defect* pertumbuhan jamur dengan menerapkan metode *5-whys analysis*.

Tabel 8. 5 Whys Analysis.

Faktor	Penyebab	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
Material	Kadar air pada bahan baku masih terlalu tinggi saat proses pengukusan awal	Karena bahan baku memiliki kadar air yang tidak terkendali sejak awal	Karena tidak ada proses pengeringan kadar air sebelum pencampuran.	Karena perusahaan belum menerapkan sistem inspeksi dan pengujian kadar air bahan baku	Karena belum ada alat ukur kadar air yang digunakan di area bahan baku.	Karena belum ada kebijakan atau SOP yang mengharuskan pengecekan kadar air sebelum bahan baku diproses.
	Kelembaban adonan saat	Tidak ada pengecekan	Karena perusahaan belum	Karena tidak ada prosedur yang	Karena inspeksi kualitas lebih berfokus	Karena perusahaan hanya

	disimpan di mesin pendingin kurang optimal	kelembaban sebelum proses pendinginan	menetapkan standar kelembaban adonan sebelum masuk ke pendingin.	digunakan untuk mengukur kelembaban adonan secara rutin	pada tahap akhir saja.	mengevaluasi hasil akhir produk tanpa memperhatikan parameter kritis selama proses produksi
Man	Minimnya pengawasan saat shift malam	Karena jumlah supervisor atau pengawas produksi di shift malam sangat terbatas.	Karena manajemen belum menetapkan kebijakan khusus untuk pengawasan shift malam	Karena dianggap bahwa shift malam memiliki beban kerja lebih ringan dibandingkan shift pagi/sore	Karena tidak ada analisis beban kerja yang membandingkan antara shift malam dan shift lainnya	Karena belum ada sistem monitoring yang mencatat perbedaan produktivitas dan kendala di setiap shift
	Pekerja tidak memahami dampak waktu tunggu yang lama terhadap pertumbuhan jamur.	Kurangnya pelatihan pekerja tentang kontrol waktu dalam proses produksi	Karena perusahaan tidak memiliki program pelatihan yang membahas risiko pertumbuhan jamur dalam produksi	Karena fokus pelatihan lebih kepada keterampilan teknis operasional daripada pemahaman tentang keamanan pangan	Karena manajemen lebih mengutamakan efisiensi produksi dibandingkan pengendalian kualitas dari segi mikrobiologi	Karena tidak ada sistem evaluasi yang mengukur dampak kecacatan akibat faktor mikrobiologis terhadap kerugian produksi
	Waktu yang kurang optimal saat pengeringan di oven	Karena tidak ada standar yang jelas terkait durasi pengeringan	Karena parameter suhu, waktu dan ketebalan adonan belum dikalibrasi secara sistematis.	Karena perusahaan belum melakukan eksperimen optimasi untuk menentukan kondisi terbaik dalam pengeringan.	Karena perusahaan lebih mengandalkan pengalaman operator daripada pendekatan berbasis data dan analisis ilmiah.	Karena belum ada kebijakan untuk menerapkan metode optimasi dalam produksi
Metho d	Tidak ada sistem penjadwalan yang memastikan adonan segera masuk ke tahap pengeringan	Karena alur produksi masih bergantung pada kondisi dan keputusan pekerja di lapangan	Karena belum ada prosedur baku atau sistem otomatisasi untuk mengatur waktu perpindahan adonan antar proses.	Karena perusahaan belum melakukan analisis waktu tunggu dan <i>bottleneck</i> dalam proses produksi	Karena belum ada kebijakan atau alat pemantauan yang digunakan untuk mengukur efisiensi waktu pada setiap tahap produksi	Karena manajemen lebih berfokus pada target produksi harian daripada optimalisasi waktu dan alur kerja
Machi ne	Mesin pendingin tidak memiliki pemantauan suhu	Karena tidak ada sensor atau alat ukur suhu yang terpasang pada mesin pendingin.	Karena mesin pendingin masih dioperasikan secara manual tanpa sistem kontrol otomatis	Karena perusahaan belum mengalokasikan anggaran untuk pemasangan sensor dan sistem pemantauan suhu	Karena manajemen tidak menyadari dampak signifikan dari fluktuasi suhu terhadap kualitas produk.	Karena belum ada data atau analisis yang menunjukkan hubungan antara suhu penyimpanan dan tingkat kecacatan produk.
	Oven memiliki distribusi panas yang tidak merata	Umur mesin yang sudah tua dan kurangnya perawatan	Karena tidak ada jadwal pemeliharaan preventif yang dilakukan secara berkala	Karena perusahaan lebih berfokus pada perbaikan setelah terjadi kerusakan daripada pemeliharaan rutin	Karena tidak ada anggaran khusus yang dialokasikan untuk perawatan preventif mesin	Karena manajemen belum menyadari dampak distribusi panas yang tidak merata terhadap kualitas produk akhir

## 2. Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis *Root Cause Analysis* (RCA) yang didukung oleh *fishbone diagram* dan *5 whys*, telah diidentifikasi faktor-faktor utama yang menjadi penyebab permasalahan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut secara efektif, diperlukan rekomendasi perbaikan yang tepat dan berkelanjutan. **1. Faktor Material.** (a) Menetapkan standar kadar air bahan baku sebelum masuk ke tahap pencampuran adonan,

[ISSN 2598-9936 \(online\)](https://ijins.umsida.ac.id), <https://ijins.umsida.ac.id>, published by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Copyright © Author(s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY).

standar ini memastikan hanya bahan baku dengan kelembaban yang sesuai yang digunakan dalam produksi. (b) Menggunakan *moisture meter* untuk mengevaluasi kadar air bahan baku dan mengeringkan atau menyesuaikan formula jika melebihi standar. **2. Faktor Manusia.** (a) Melatih operator produksi tentang pengukuran kadar air dan menetapkan SOP batas waktu tunggu sebelum pengeringan. (b) Meningkatkan pengawasan produksi, terutama dalam shift malam, untuk memastikan pekerja mematuhi prosedur yang telah ditetapkan. **3. Faktor Metode.** (a) Mengoptimalkan waktu dan suhu pengeringan dengan metode RSM untuk menjaga kadar air aman tanpa merusak tekstur kerupuk. (b) Menstandarisasi waktu tunggu sebelum dan setelah pengeringan untuk mencegah paparan kelembaban tinggi. **4. Faktor Mesin.** (a) Memasang sensor suhu pada mesin pendingin untuk memastikan kondisi optimal dan mencegah peningkatan kadar air akibat kondensasi. (b) Melakukan kalibrasi rutin dan pemeriksaan distribusi panas oven dengan alat uji termal untuk mengidentifikasi ketidakmerataan. Menambahkan kipas sirkulasi untuk memastikan panas tersebar merata dan mengurangi kelembaban produk.

## IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa suhu oven, waktu pengeringan, dan ketebalan berpengaruh signifikan terhadap kadar air kerupuk udang, sebagaimana dibuktikan oleh analisis ANOVA
2. Metode RSM menentukan kondisi optimal pengeringan kerupuk udang pada suhu 70°C, waktu 60 menit, dan ketebalan 5 mm untuk mencapai kadar air 9,00%. Optimasi RSM sesuai dengan nilai *desirability* 1,00, menandakan kondisi optimal untuk kadar air rendah.
3. Berdasarkan analisis *Root Cause Analysis* (RCA), perbaikan yang direkomendasikan meliputi pengendalian kadar air bahan baku, optimasi suhu dan waktu pengeringan sesuai hasil RSM, peningkatan sistem pemantauan dengan sensor suhu, serta pelatihan operator produksi dan pengawasan yang lebih ketat.

Implementasi rekomendasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi kecacatan, dan menjaga kualitas produk secara konsisten.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik berkat dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo serta PT. XYZ atas fasilitas dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

## Referensi

1. F. N. Sari and I. D. Mulyani, "Pengaruh Cita Rasa Dan Harga Terhadap Keputusan Pembelian Kerupuk Udang Sinar Jaya Kaligangsa Brebes," *Journal of Economics and Management*, vol. 3, no. 2, pp. 19–27, 2021.
2. M. C. Sugiono et al., "Analisa Pengendalian Kualitas Mengurangi Jumlah Cacat Produk Jacket Jeans Di Home Industry NR Collection Dengan Metode Seven Tools," *Journal of Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 73–80 2022.
3. S. D. Kholisoh et al., "Optimasi Proses Pembuatan Asap Cair Dari Tempurung Kelapa Melalui Response Surface Methodology," *Journal of Technology*, vol. 16, no. 2, pp. 120–127, 2023.
4. P. B. Sugiharto et al., "Analisis Perbaikan Defect Pada Produk Bata Ringan Dengan Menggunakan Metode Root Cause Analysis," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 3, no. 1, pp. 157–170, 2023.
5. K. Anwar et al., "Optimization of Extraction Temperature and Time of Eurycoma Longifolia Using Response Surface Methodology," *Journal of Pharmascience*, vol. 8, no. 1, p. 53, 2021.
6. I. R. Hidayat et al., "Design-Expert Software as a Tool for Pharmaceutical Formulation Optimization," *Majalah Farmasetika*, vol. 6, no. 1, pp. 99–120, 2021.
7. O. Setiawan and A. T. Pradipta, "Application of Response Surface Methodology Box-Behnken for Fenton Process Optimization," vol. 20, no. 2, pp. 97–107, 2024.
8. M. Aziz and R. Saraswati, "Optimization of CNC Milling Parameters Using Response Surface Methodology," *Formosa Journal of Applied Science*, vol. 1, no. 4, pp. 293–304, 2022.
9. A. S. Anwar et al., "Analysis of Injection Molding Parameters Using Response Surface Method," *Proceedings of Manufacturing Engineering Conference*, vol. 8, no. 1, pp. 12–17, 2024.
10. N. Adita Putri et al., "Optimization of Bioethanol Content Using Response Surface Method," *Innovation in Chemical Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 155–159, 2023.
11. A. Eka et al., "Prediction of National Beef Production Using Linear and Polynomial Regression," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 20, no. 2, pp. 209–215, 2021.
12. O. T. Telambanua, "Effect of Compensation and Work Spirit on Employee Productivity," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Nias Selatan*, vol. 6, no. 2, pp. 338–351, 2023.
13. E. Sulistianingsih et al., "Modeling Human Development Index Using Ridge and Stepwise Regression," *Journal of Gaussian*, vol. 11, no. 3, pp. 468–477, 2023.
14. S. A. Rozzaq and M. Arif, "Response Surface Analysis in Motorcycle Coating Process," *Journal of Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 36–47, 2023.
15. S. Winarni and E. Supartini, "Application of Multi-Response Optimization in Papaya Storage," *Proceedings of National Seminar on Science and Technology*, 2021.
16. R. D. Purwaning and S. Sunaryo, "Multi-Response Surface Optimization Using AHP-Fuzzy TOPSIS," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 4, no. 1, pp. 85–90, 2020.
17. M. W. Refindo et al., "Embedded System-Based Coffee Bean Dryer Technology," *Jurnal Pepadun*, vol. 4, no. 3, pp. 244–253, 2023.
18. I. A. Sidikiyah, "Defect Analysis in Plywood Production Using SPC and RCA," *JUSTI Journal*, vol. 3, no. 2, p. 267, 2023.
19. F. R. Zani and H. Supriyanto, "Process Improvement Using RCA and FMEA," *National Seminar on Applied Science and Technology*, 2021.

# Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 26 No. 4 (2025): October

DOI: 10.21070/ijins.v26i4.2105

20. M. I. Monoarfa et al., "Bottleneck Analysis in Briquette Production Using Fishbone Diagram," *Jambura Industrial Review*, vol. 1, no. 1, pp. 15–21, 2021.
21. R. De Fretes, "Transformer Failure Analysis Using RCA and 5-Why," *Arika Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 117–124, 2022.
22. A. R. N. Adzima et al., "Optimization of Carbon Steel Properties Using Response Surface Method," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1–24, 2023.
23. I. I. Damayanti et al., "Optimization of EDM Sinking Parameters Using Response Surface Method," *Manufacturing Conference Proceedings*, vol. 6, no. 1, pp. 236–241, 2022.
24. A. F. Jafar, "Application of Conventional Learning Methods in Physics Education," *Al Asma Journal of Islamic Education*, vol. 3, no. 2, p. 190, 2021.