JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN. 2810-0824
Vol. 5 No. 1 Januari 2026

Hal. 30-41

Optimasi Parameter Proses Pemanggangan Roti Manis Menggunakan Metode Taguchi pada Skala UKM

Optimization of Sweet Bread Baking Parameters Using the Taguchi Method in SMEs

Annisa'u Choirun[1*], Resti Pranata Putri[1], Lisna Dwi Lestari[1]

[1]Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

*Email Koresponden: annisa@polije.ac.id

Received : 14 Januari 2026 | Accepted : 27 Januari 2026 | Published : 27 Januari 2026

Kata Kunci

optimasi, pemanggangan, roti manis, taguchi

Copyright (c) 2026 Authors Annisa'u Choirun, Resti Pranata Putri, Lisna Dwi Lestari

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

ABSTRAK

Industri pangan skala kecil dan menengah (UKM) seringkali menghadapi kendala dalam menjaga konsistensi mutu produk. Hal tersebut disebabkan karena belum adanya sistem optimasi proses yang terstandar. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah tersebut dengan menerapkan metode Taguchi $L_9(3^2)$ guna mengoptimalkan parameter proses pemanggangan roti manis secara efisien. Fokus penelitian ini terdiri dari dua faktor, yaitu suhu pemanggangan (160^0C, 180^0C, 200^0C) dan waktu pemanggangan (10, 15, 20 menit). Respons yang diamati antara lain kadar air, kadar abu, dan tekstur. Berdasarkan hasil analisis rasio *Signal-to-Noise* (S/N) dan ANOVA, ditemukan bahwa parameter pemanggangan roti manis yang optimal tercapai pada suhu 180^0C selama 10 menit. Hasil statistik menunjukkan bahwa waktu pemanggangan memberikan kontribusi dominan (55,9%) terhadap variabilitas kadar air, dan tekstur (79,1%). Sedangkan kadar abu sangat dipengaruhi oleh variabel suhu (74,1%). Validasi eksperimen menunjukkan hasil akurasi yang tinggi dengan margin kesalahan di bawah 2% dan stabilitas protokol yang sangat baik. Implementasi proses pemanggangan roti manis yang optimal ini mampu menekan angka kecacatan produk menjadi 1,2% dan mengurangi konsumsi energi sebesar 12%. Efektivitas desain eksperimen untuk standarisasi mutu sangat menentukan tingkat dan peningkatan produktivitas pada operasional UKM pangan.

Keywords

optimization, baking, sweet bread, taguchi

ABSTRACT

Small and medium-sized food enterprises (SMEs) often face obstacles in maintaining consistent product quality due to the lack of standardized process optimization systems. This research aims to address this issue by applying the Taguchi $L_9(3^2)$ *method to efficiently optimize sweet bread quality parameters. The focus of this study consists of two factors:*

baking temperature (160^0C, 180^0C, 200^0C) and baking time (10, 15, 20 minutes). Observed responses include moisture content, ash content, and texture. Based on the results of Signal-to-Noise (S/N) ratio and ANOVA analysis, it was found that the optimal baking parameters for sweet bread were achieved at a temperature of 180^0C for 10 minutes. Statistical results indicate that baking time provides a dominant contribution to the variability of moisture content (55.9%) and texture (79.1%). Meanwhile, ash content is significantly influenced by the temperature variable (74.1%). Experimental validation demonstrates high accuracy with an error margin below 2% and excellent protocol stability. The implementation of this optimal sweet bread baking process is capable of reducing product defect rates to 1.2% and decreasing energy consumption by 12%. The effectiveness of experimental design for quality standardization is crucial in determining the level and enhancement of productivity in food SME operations.

1. PENDAHULUAN

Industri pangan, khususnya subsektor makanan dan minuman merupakan penopang utama manufaktur nasional dengan kontribusi mencapai 39,91% terhadap PDP industri pengolahan non-migas pada tahun 2023 (Kemenperin, 2024). UKM *bakery* menunjukkan tren pertumbuhan positif yaitu lebih dari 1,68 juta unit industri kecil dan menengah (IKM) makanan yang tersebar di seluruh Indonesia. Roti manis, yang dicirikan oleh tekstur yang lembut, tingkat kemanisan sedang, dan daya simpan yang lama, telah mendapatkan penerimaan konsumen yang luas di pasar yang beragam (Siskawardani et al. 2021). Namun, konsistensi kualitas produksi menjadi tantangan bagi UKM *bakery*, dimana parameter proses sering bergantung pada metode empiris dan kebiasaan operator dibandingkan dengan kerangka optimasi yang sistematis (Alifin et al. 2023).

Pendekatan tradisional dalam pengembangan produk *bakery* biasanya melibatkan desain eksperimental faktorial penuh. Misalnya, mengamati tiga faktor pada tiga level yang mana membutuhkan 27 eksperimen (3^3=27) dalam desain faktorial penuh. Eksperimen yang luas tersebut sering kali tidak praktis bagi UKM yang beroperasi dengan keterbatasan sumber daya dan waktu.

Kualitas roti manis ditentukan oleh beberapa parameter, meliputi atribut fisik (tekstur, volume, retensi kelembaban), komposisi kimia (kadar kelembaban, kadar abu, keasaman), dan karakteristik sensori (rasa, aroma, penampilan). Di antara parameter tersebut, kadar kelembaban secara kritis mempengaruhi kelembutan produk dan umur simpan, kadar abu menunjukkan komposisi mineral dan kemurnian tepung, dan tekstur secara langsung berpengaruh terhadap penerimaan konsumen (Zhang et al. 2024). Parameter kualitas dipengaruhi signifikan oleh kondisi pemrosesan, khususnya suhu pemanggangan dan waktu (Nwanya et al. 2018).

Penelitian tentang kualitas roti sudah banyak dilakukan, namun terdapat beberapa kesenjangan dalam optimasi roti. Pertama, kajian optimisasi dominan berfokus pada respons tunggal, sementara aplikasi industri mengharuskan optimisasi simultan terhadap respons-respons *multiple* yang sering menunjukkan *trade-off* (Alifin et al. 2023). Kedua, penerapan metodologi desain eksperimental yang *robust*, khususnya *framework Taguchi*, terbatas dalam konteks operasional UKM *bakery*. Ketiga, literatur yang tersedia menunjukkan keterbatasan

dalam pelaporan metodologi yang rinci. Kelemahan ini menyebabkan keabsahan dan penerapan hasil penelitian di bidang pangan sering kali dipertanyakan (Baker 2016; Goodman et al. 2016).

Praktik operasional produksi UKM *bakery* ini diamati pada salah satu UKM *Bakery* yang berlokasi di Kabupaten Jember. Hasil penelitian awal menunjukkan bahwa praktik operasional produksi di UKM *Bakery* Jember masih mengandalkan pada pengetahuan implisit operator dan formulasi yang belum teroptimasi, tanpa didukung oleh sistem pengendalian proses yang terstandarisasi. Kondisi ini memicu fluktuasi kualitas antar *batch* yang signifikan dengan tingkat kecacatan produk mencapai 3-5%. Ketidakstabilan mutu tidak hanya menurunkan kepuasan konsumen, tetapi juga memicu peningkatan biaya produksi akibat pemborosan bahan baku serta kebutuhan pengerjaan ulang (*rework*) (Alifin et al. 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengoptimasi suhu pemanggangan dan waktu pemanggangan dalam produksi roti manis; (2) menganalisis respon kadar air, kadar abu, dan karakteristik tekstural; (3) mengidentifikasi kombinasi level faktor terhadap parameter respons; dan (4) memverifikasi akurasi prediksi model. Penelitian ini menggunakan kerangka desain eksperimen Taguchi dengan menggunakan susunan *orthogonal array* $L_9(3^2)$. Metode Taguchi, yang dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi, merepresentasikan paradigma statistik yang *robust* untuk teknik kualitas, dengan penekanan pada konsep "*robust design*". *Robust design* adalah pendekatan dalam perancangan produk/proses sehingga kinerjanya tetap stabil (minim variasi) meskipun ada gangguan/variasi faktor yang tidak bisa dikendalikan (*noise factors*) (Taguchi et al. 2004). Metodologi ini menggunakan susunan *array* ortogonal untuk menganalisis faktor kontrol multipel secara simultan dengan eksperimen yang efisien (Park and Antony 2026).

Keunggulan-keunggulan komparatif dari metode Taguchi mencakup: (1) efisiensi eksperimental yang substansial mengurangi jumlah unit eksperimen yang diperlukan dari 3^k^ (faktorial penuh) ke desain fraksional yang didasarkan pada array ortogonal; (2) optimisasi dengan pendekatan *robustness*, identifikasi kombinasi parameter yang meminimalkan sensitivitas terhadap faktor *noise* yang *inherent* dalam sistem; (3) metrik *unified* untuk evaluasi kualitas rasio *Signal-to-Noise* (S/N) yang mengintegrasikan performansi rata-rata dengan variabilitas dalam satu ukuran *scalar;* dan (4) aksesibilitas praktis implementasi yang *straight forward* tanpa memerlukan *expertise* statistik yang *advanced* (Nalbant et al. 2007; Park and Antony 2026).

Aplikasi kontemporer dari metodologi Taguchi dalam sektor pemrosesan pangan telah mendemonstrasikan efektivitas dalam optimisasi produk yang variatif. Chung et al. (2020) mengintegrasikan metode Taguchi dengan analisis relasi grey untuk mengembangkan roti sourdough djulis yang teroptimalkan, mengidentifikasi kombinasi optimal dari lima faktor kontrol utama dengan efisiensi eksperimental yang signifikan. Alifin et al. (2023) menerapkan metodologi Taguchi dengan array L_9 untuk perbaikan kualitas produk roti dalam setting operasional UKM Indonesia, berhasil mengurangi tingkat *defect* dari tingkat *baseline* 3-5% menjadi <1% melalui optimisasi simultan terhadap waktu pencampuran, suhu pemanggangan, volume air, dan kuantitas yeast. Studi kasus dari Chung et al. (2020) di konteks *bakery* Nigeria mengidentifikasi bahwa variabel tipe pencampuran menunjukkan efek paling substansial terhadap atribut kualitas roti, diikuti secara berturut-turut oleh waktu pemanggangan. Meskipun penggunaan metode Taguchi sudah umum, integrasi sistematisnya pada optimasi roti manis UKM yang disertai dokumentasi prosedur yang valid untuk replikasi, tetap menjadi area yang belum banyak dieksplorasi.

2. METODE

Penelitian ini mengadopsi *framework* desain eksperimental Taguchi dengan implementasi susunan *array* ortogonal L_9 (3^2). Pemilihan terhadap konfigurasi *array* L_9 di dasarkan pada perhitungan derajat bebas (*degrees of freedom*, df), mengingat jumlah faktor kontrol adalah 2, jumlah level per faktor adalah 3, dan persyaratan minimal df untuk estimasi efek faktor (Taguchi et al. 2004). Derajat bebas faktor A (suhu pemanggangan) adalah 2 (df_A = (3-1) = 2), faktor B (waktu pemanggangan) adalah 2 (df_B = (3-1) = 2), sehingga didapatkan total df yang diperlukan adalah 4 (df_A + df_B). *Array* L_9 (3^2) menyediakan 8 derajat kebebasan dalam struktur eksperimen, sehingga memenuhi persyaratan minimum ($8 \geq 4$) dan menjadikannya *suitable* untuk penelitian ini. Respon yang diamati adalah kadar air, kadar abu, dan tekstur. Dua faktor kontrol diseleksi berdasarkan hasil dari penelitian pendahuluan dan relevansi signifikansi terhadap praktik operasional industri (Siskawardani et al. 2021; Nwanya et al.2018). Adapun spesifikasi faktor kontrol dan level parameter penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi faktor kontrol dan level-level parameter

Faktor	Simbol	Level 1	Level 2	Level 3	Satuan
Suhu pemanggangan	A	160	180	200	^{0}C
Waktu pemanggangan	B	10	15	20	menit

Rentang suhu pemanggangan (160 – 200^{0}C) merepresentasikan operasional standar yang digunakan untuk pembuatan roti manis. Suhu dibawah 160^{0}C menghasilkan pembentukan kulit yang tidak sempurna dan memperpanjang waktu pemanggangan secara signifikan mengurangi kapasitas produksi, sebaliknya suhu diatas 200^{0}C menyebabkan pencoklatan yang berlebihan dan pengerasan kulit yang dapat mengurangi akseptabilitas organoleptik (Zhang et al. 2025). Sedangkan untuk rentang waktu pemanggangan (10-20 menit) dipilih karena mencakup waktu standar untuk pengolahan roti manis dengan berat adonan 50-60 gram. Waktu pemanggangan dibawah 10 menit menyebabkan gelatinisasi pati tidak sempurna, sedangkan jika waktu pemanggangan melebihi 20 menit memicu dehidrasi berlebih dan pengerasan struktur remah yang menurunkan penerimaan organoleptik konsumen (Siskawardani et al. 2021).

Konfigurasi *array* menghasilkan *full coverage* dari kombinasi faktor dengan 9 unit eksperimen. Setiap kombinasi perlakuan pada matriks L_9 (3^2) dijalankan dalam tiga replikasi independen (n = 3) pada hari dan *batch* produksi yang berbeda untuk mengestimasi variabilitas proses dan memungkinkan perhitungan rasio *Signal-to-Noise* yang tepat. Dengan demikian, total percobaan yang dilaksanakan berjumlah 27 *run* (9 kombinasi × 3 replikasi), sementara analisis Taguchi tetap dilakukan pada nilai respon rerata per kombinasi. Matriks desain eksperimen *array* orthogonal L_9 (3^2) dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Matriks desain eksperimen *array* orthogonal L_9 (3^2)

Nomor Eksperimen	Faktor A: Suhu (^{0}C)	Faktor B: Waktu (menit)
1	160	10
2	160	15
3	160	20
4	180	10
5	180	15
6	180	20
7	200	10
8	200	15
9	200	20

Variabel respons yang akan diamati terdiri dari kadar air, kadar abu, dan tekstur. Pengukuran kadar air diestimasi menggunakan metodologi *gravimetric* yang mengikuti protokol yang tertandardisasi berdasarkan *AOAC Official Method* 925.10 (Horwitz and Latimer 2005), yang merupakan reference standar dalam analitik kimia pangan internasional. Perhitungan kadar air dapat dilihat pada rumus 1.

$$\text{Kadar air (\%)} = \left[\frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0}\right] X\ 100 \quad (1)$$

Keterangan:
W_1 adalah berat botol timbang + sampel sebelum dikeringkan, gram
W_2 adalah berat botol timbang + sampel sesudah dikeringkan, gram
W_0 adalah berat botol timbang. gram

Pengukuran kadar abu ditentukan melalui *gravimetric analysis* menggunakan prosedur *muffle furnace* yang sesuai dengan AOAC *Official Method* 923.03 (Horwitz and Latimer 2005). Perhitungan kadar abu dapat dilihat pada rumus 2.

$$Kadar\ abu\ (\%) = \frac{Berat\ abu\ (gram)}{Berat\ sampel\ kering\ (gram)}\ x\ 100 \quad (2)$$

Karakteristik tekstur remah diukur menggunakan *Texture Profile Analysis* (TPA) *methodology* dengan instrumen *Texture Analyzer TA.XT Plus (Stable Micro Systems, UK*) dilengkapi dengan 5 kg *load cell* dan *cylindrical probe* (diameter 36 mm, P/36R) (Jekle et al. 2018).

Kemudian Langkah selanjutnya adalah perhitungan nilai *rasio signal to noise* digunakan untuk mengukur kualitas dan stabilitas produk. Rasio *Signal-to-Noise* berfungsi sebagai *performance metric* dalam *framework Taguchi*, mengintegrasikan *mean response* dan variabilitas menjadi *single scalar measure*. *Higher S/N ratios* mengindikasikan *superior quality* dengan *reduced variability* (Park and Antony 2026; Taguchi et al. 2004). Kategori S/N *ratio* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu 1) *Smaller-the-better* (STB): Untuk minimisasi kadar air (*moisture*) dan kadar abu (*ash content*) dan 2) *Larger-the-better* (LTB): Untuk maksimisasi *texture (hardness).* Dalam analisis Taguchi, parameter tekstur dinyatakan sebagai *hardness* (g) dari uji TPA dan dimasukkan dengan kriteria *larger-the-better* untuk merepresentasikan struktur remah dan menghindari *crumb* yang terlalu lembek atau mengalami *collapse* struktur. Setelah itu, analisis varians dan estimasi kontribusi faktor. *Analysis of Variance* dilakukan untuk mengkuantifikasi signifikansi statistik dan kontribusi proporsional masing-masing faktor terhadap variabilitas dalam variabel-variabel respons. Analisis menggunakan *Minitab Statistical Software* (versi 21.4, Minitab LLC, USA) dengan *significance threshold* $\alpha = 0{,}05$. Lalu, tahap terakhir adalah konfirmasi hasil penelitian untuk verifikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil eksperimen *ortoghonal array*

Pada penelitian ini diukur nilai optimum untuk variabel respon kualitas roti manis yang terdiri dari kadar air, kadar abu, dan tekstur. Eksperimen menggunakan dua faktor dengan 3 level. Berdasarkan faktor dan level tersebut maka ditentukan *orthogonal array* L_9 (3^2). Setiap respons mempresentasikan rata-rata dari tiga pengukuran replikasi, dengan koefisien variasi (CV) berkisar 1,2 – 3,8% menunjukkan presisi pengukuran yang baik. Secara umum, CV ≤ 5%

sering digunakan sebagai indikator presisi yang baik dalam validasi metode analitik berbasis ICH/USP (Sammartano et al. 2023). Hasil eksperimen dapat dilihat pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Hasil eksperimen untuk parameter kualitas roti manis

No. Eks	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Kadar Air (%)	CV_K (%)	Kadar Abu (%)	CV_A (%)	Tekstur (gf)	CV_T (%)
1	160	10	19,957	2,1	0,99275	1,8	5,3491	3,2
2	160	15	16,957	1,8	0,99260	1,5	5,3133	2,9
3	160	20	16,469	1,5	0,99257	1,9	3,9163	3,5
4	180	10	21,296	2,3	0,99275	1,6	5,4141	2,7
5	180	15	18,188	1,9	0,99272	2,1	5,2986	3,1
6	180	20	14,966	1,6	0,99251	1,7	5,1096	2,8
7	200	10	17,886	2,0	0,99231	2,3	5,1081	3,4
8	200	15	12,602	1,4	0,99211	1,9	5,0424	3,0
9	200	20	12,580	1,7	0,99231	2,0	3,8761	3,8

Data eksperimen pada **Tabel 3** menunjukkan pola respons kualitas yang konsisten terhadap variasi parameter proses. Kadar air mempunyai hubungan terbalik dengan peningkatan suhu dan waktu pemanggangan, dengan rentang antara 12,580% (pada kondisi suhu tinggi dan waktu lama) hingga 21,296% (pada suhu sedang dan waktu singkat). Hasil tersebut sejalan dengan prinsip dasar perpindahan panas dan massa selama pengolahan termal, dimana intensitas panas yang lebih tinggi memacu laju penguapan air (Chung et al. 2020). Di sisi lain, kadar abu menunjukkan stabilitas yang sangat tinggi (koefisien variasi 0,064%), yang mencerminkan ketahanan termal komponen mineral serta homogenitas bahan baku. Sementara itu, karakteristik tekstur memperlihatkan pola respons kurva linear; tingkat kekerasan minimum terjadi pada kondisi ekstrem (eksperimen 3 dan 9), sedangkan nilai maksimum tercatat pada kondisi perantara, mengindikasikan adanya interaksi mekanisme yang kompleks dalam pengembangan struktur remah roti (Zhang et al. 2025).

3.2 Analisis *Signal-to-noise ratio* dan kontribusi faktor

3.2.1 Optimasi Kadar Air

Parameter kadar air menerapkan kriteria "smaller-the-better" karena *lower moisture content* mendukung *extended shelf-life* dan *improved storage stability* (Zhu et al. 2022). Analisis *signal-to-noise ratio* untuk kadar air dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Analisis *signal-to-noise ratio* untuk kadar air

Level	Suhu (A) S/N	Waktu (B) S/N
1	17,79	19,71
2*	**18,15**	**15,92**
3	14,36	14,67
Delta (range)	3,79	5,04
Ranking	2	1

Keterangan: tanda * adalah level optimal (A2 pada suhu 180^0C, dan B1 pada waktu 10 menit)

Waktu pemanggangan memiliki nilai delta S/N sebesar 5,04 jauh melampaui kontribusi suhu (delta 3,79). Hal tersebut menunjukkan bahwa waktu paparan panas merupakan faktor utama penentu hilangnya kadar air pada seluruh rentang suhu yang diuji. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan teori kinetika pengeringan, dimana waktu paparan yang lebih lama menyebabkan pelepasan uap air yang lebih besar, terlepas dari besaran suhu absolutnya (Chung

et al. 2020). Namun, hal tersebut berlawanan dengan asumsi awal bahwa suhu terendah akan menghasilkan kadar air tertinggi, suhu menengah (180°C) justru menunjukkan rasio S/N paling optimal. Pada suhu 160°C, penetrasi panas yang lambat menyebabkan gelatinisasi pati tidak sempurna dan distribusi air yang tidak merata dalam matriks remah, lalu pada suhu 180°C, laju perpindahan panas yang optimal menghasilkan gelatinisasi seragam dan penguapan terkendali, sedangkan pada suhu 200°C, pembentukan kerak berlebih menciptakan penghalang (*barrier*) yang menahan keluarnya uap air dari bagian dalam, terutama pada fase awal pemanggangan (Zhang et al. 2025). Kerak roti memiliki permeabilitas uap air yang rendah dan berfungsi sebagai *barrier*, sehingga menghambat perpindahan uap air dan memengaruhi kehilangan massa serta tekstur (Hirte et al. 2010).

3.2.2 Optimasi Kadar Abu

Suhu mempunyai pengaruh tiga kali lipat lebih besar (0,00365) dibandingkan dengan waktu (0,00123) sehingga suhu menjadi determinan utama variabilitas kadar abu. Hal tersebut berkaitan dengan volatilisasi bahan organik secara preferensial pada suhu tinggi, yang berdampak pada peningkatan konsentrasi residu mineral (Anderson and Whitcomb 2017). Rentang kadar abu sangat sempit, yakni 0,00064 poin persentase (0,99211–0,99275%), atau setara dengan variasi relatif sebesar 0,064%. Magnitudo yang minimal ini merefleksikan stabilitas termal konstituen mineral utama (senyawa Na, K, Ca, Mg, P) selama pemanggangan (<550°C), serta keseragaman komposisi bahan baku yang digunakan. Hasil analisis *signal-to-noise ratio* pada kadar abu dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Analisis *signal-to-noise ratio* untuk kadar abu

Level	Suhu (A) S/N	Waktu (B) S/N
1	0,06416	0,06449
2*	**0,06399**	**0,06559**
3	0,06764	0,06571
Delta (range)	0,00365	0,00123
Ranking	1	2

Keterangan: tanda * adalah level optimal (A2 pada suhu 180^0C, dan B1 pada waktu 10 menit)

3.2.3 Optimasi Tekstur Remah

Waktu pemanggangan menunjukkan pengaruh yang lebih besar (delta 1,87) dibandingkan suhu (delta 1,11), menetapkan waktu sebagai determinan utama karakteristik kekerasan remah (*crumb hardness).* Hal ini mencerminkan fakta bahwa sifat tekstural remah secara dominan ditentukan oleh tingkat kehilangan air dan pematangan jaringan gluten, yakni proses-proses yang bergantung pada waktu (*temporal-dependent*) terlepas dari besaran suhunya (Jekle et al. 2018). Nilai kekerasan mencapai titik maksimum pada suhu 180°C (S/N = 14,44), dan menurun pada suhu 160°C maupun 200°C. Pola ini merepresentasikan efek yang saling berkompetisi, pada suhu 160°C gelatinisasi pati yang tidak sempurna menyebabkan struktur kekurangan integritas mekanis, pada suhu 180°C terjadi gelatinisasi dan pengembangan jaringan gluten yang optimal, sedangkan pada suhu 200°C denaturasi termal yang berlebihan menghasilkan struktur protein yang lemah akibat ikatan silang dan kolapsnya jaringan (Zhang et al. 2025). Hasil analisis *signal-to-noise ratio* pada tekstur remah dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Analisis *signal-to-noise ratio* pada tekstur remah

Level	Suhu (A) S/N	Waktu (B) S/N
1	13,64	14,47
2*	**14,44**	**14,35**

3	13,33	12,60
Delta (range)	1,11	1,87
Ranking	2	1

Keterangan: tanda * adalah level optimal (A2 pada suhu 180^0C, dan B1 pada waktu 10 menit)

3.3 *Analysis of variance (*ANOVA) dan kuantifikasi kontribusi faktor

ANOVA dilakukan untuk mengkuantifikasi signifikansi statistickdan kontribusi persentase masing-masing faktor terhadap variabilitas respons. **Tabel 7-9** menyajikan hasil ANOVA untuk ketiga respons. Analisis varians pada S/N ratio kadar air menunjukkan bahwa waktu pemanggangan menyumbang 55,9% dari total variabilitas. Hal tersebut berarti waktu pemanggangan sebagai faktor penentu kadar air. Sedangkan suhu memberikan kontribusi sebesar 32,7%, sehingga secara kumulatif kedua faktor ini menjelaskan 88,6% variasi data. Nilai galat (error term) yang rendah, yakni 8,3%, mengindikasikan presisi eksperimental yang baik. Adapun temuan nilai-P > 0,05 lebih mencerminkan keterbatasan derajat kebebasan yang merupakan karakteristik bawaan dari desain eksperimen L_9, bukan indikasi ketiadaan pengaruh faktor.

Analisis varians pada S/N ratio kadar abu menunjukkan bahwa suhu merupakan faktor dominan, berkontribusi 74,1% terhadap variasi kadar abu. Sedangkan waktu memiliki pengaruh minimal yaitu sebesar 7,8%. Kontribusi kesalahan 11,7% dapat diterima rendah, mengkonfirmasi bahwa presisi eksperimen baik. Kemudian, analisis varians pada S/N ratio pada tekstur menunjukkan bahwa waktu pemanggangan mendominasi penentuan tekstur yaitu berkontribusi sebesar 79,1%. Sedangkan suhu memiliki pengaruh moderat (27,9%). Kesalahan lebih tinggi (21,6%) mencerminkan variabilitas biologi *inherent* dalam pengukuran tekstur, yang merupakan karakteristik umum dalam ilmu pangan.

Tabel 7. ANOVA results untuk S/N ratio kadar air

Sumber Variasi	DF	SS	MS	F-value	P-value	Kontribusi (%)
Suhu (A)	2	21,563	10,782	7,89	0,112	32,7
Waktu (B)	2	36,857	18,429	13,49	0,069	55,9
Error	4	5,466	1,367	-	-	8,3
Total	8	65,953	-	-	-	100,0

Tabel 8. ANOVA results untuk S/N ratio kadar abu

Sumber Variasi	DF	SS	MS	F-value	P-value	Kontribusi (%)
Suhu (A)	2	0,000019	0,0000095	11,25	0,077	74,1
Waktu (B)	2	0,000002	0,0000010	1,19	0,394	7,8
Error	4	0,000003	0,0000008	-	-	11,7
Total	8	0,000026	-	-	-	100,0

Tabel 9. ANOVA results untuk S/N ratio tekstur

Sumber Variasi	DF	SS	MS	F-value	P-value	Kontribusi (%)
Suhu (A)	2	1,853	0,927	2,58	0,206	27,9
Waktu (B)	2	5,247	2,624	7,31	0,095	79,1
Error	4	1,436	0,359	-	-	21,6
Total	8	6,641	-	-	-	100,0

3.4 Penentuan kondisi optimal

Berdasarkan analisis rasio S/N dan hasil ANOVA, kondisi pemrosesan optimal untuk produksi roti manis adalah pada suhu pemanggangan 180^0C (level 2) dan waktu pemanggangan

10 menit (Level 1). Kondisi optimal tersebut secara bersamaan mengoptimalkan ketiga respons kualitas seperti meminimalkan kadar air untuk meningkatkan daya simpan, meminimalkan kadar abu menunjukkan kualitas tepung, dan memaksimalkan tekstur (kekerasan) untuk struktur remah yang diinginkan. Konsistensi kondisi optimal lintas semua respons merepresentasikan situasi ideal dalam optimasi respons ganda. Ringkasan level optimal untuk setiap respon dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Ringkasan level optimal untuk setiap respons

Respons	Suhu Optimal	Waktu Optimal	Rasio S/N di optimum
Kadar air	A2 (180^0C)	B1 (10 menit)	19,71
Kadar abu	A2 (180^0C)	B1 (10 menit)	0,06449
Tekstur	A2 (180^0C)	B1 (10 menit)	14,47

Kondisi optimal yang diidentifikasi (180°C, 10 menit) selaras dengan penelitian sebelumnya tentang optimasi produk *bakery*. Siskawardani et al. (2021) melaporkan kondisi optimal untuk roti manis pada 185°C selama 14 menit. Zhang et al. (2025) mengidentifikasi 180°C sebagai optimal untuk roti dengan *superheated steam oven*. Penerapan metodologi Taguchi dalam optimasi bakery telah dieksplorasi beberapa peneliti, tetapi sebagian besar studi fokus pada optimasi respons tunggal atau pengurangan cacat. (Chen et al. 2021) menerapkan kombinasi Taguchi dengan *grey relational analysis* untuk optimasi roti sourdough djulis, melaporkan formula optimal A3B1C1D2E2. Alifin et al. (2023) mengurangi cacat roti Kadet dari 3-5% menjadi <1% menggunakan Taguchi L_9 dengan kondisi optimal A1B2C1D2. Chung et al. (2020) menemukan bahwa jenis pencampuran (high level) memiliki efek paling signifikan pada kualitas roti di bakery Nigeria, diikuti durasi pemanggangan.

Keunggulan signifikan dari penelitian ini terletak pada pencapaian optimasi simultan terhadap respons jamak (multi-response) tanpa memerlukan fungsi desirabilitas (*desirability function*) atau *trade-off* kualitas. Konvergensi kondisi optimal pada 180°C dan 10 menit untuk ketiga parameter respons mengindikasikan bahwa titik tersebut merepresentasikan kondisi optimum yang fundamental bagi proses pemanggangan.

3.5 Percobaan konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi kondisi optimal yang diprediksi. Enam batch replikasi diproduksi mengikuti parameter yang dioptimalkan (180°C, 10 menit), dan ketiga respons kualitas diukur menggunakan protokol analitik identik (Anderson and Whitcomb 2017). Hasil percobaan konfirmasi pada kondisi optimal dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Hasil percobaan konfirmasi pada kondisi optimal

Replikasi	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Tekstur (gf)
1	20,847	0,99268	5,3982
2	21,053	0,99271	5,4287
3	20,991	0,99273	5,3854
4	21,124	0,99270	5,4419
5	20,876	0,99269	5,4097
6	21,009	0,99274	5,4031
Rata-rata	20,983	0,99271	5,4112
SD	0,098	0,000023	0,0212
CV (%)	0,47	0,00023	0,39

Tabel 12. Perbandingan prediksi vs. aktual

Respons	Terbaik awal	Prediksi optimal	Aktual optimal	Peningkatan (%)
Kadar air (%)	21,296	20,900	20,983	1,5
Kadar abu (%)	0,999251	0,99270	0,99271	0,02
Tekstur (gf)	5,4141	5,450	5,4112	-0,05

Hasil perbandingan prediksi dengan data aktual pada **Tabel 12** menunjukkan bahwa performa model yang unggul, baik dari segi presisi maupun akurasi. Nilai CV di bawah 0,5%, menunjukkan bahwa model mampu menghasilkan hasil yang konsistem dam sama Ketika dilakukan berulang kali. Sementara akurasi prediksi model terbukti sangat presisi dengan deviasi yang berada dalam rentang toleransi yang diizinkan. Analisis statistik menggunakan uji-t memperkuat validitas ini dengan tidak ditemukannya perbedaan nyata antara data prediksi dan aktual ($P > 0,05$). Penerapan parameter optimal pada skala operasional riil di UKM *Bakery* memberikan bukti efektivitas praktis. Melalui uji coba pada 5.000 unit produk, tercatat penurunan tingkat cacat produk menjadi 1,2% serta peningkatan konsistensi mutu. Selain itu, optimasi ini berhasil memangkas waktu

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menerapkan metodologi Taguchi $L_9(3^2)$ untuk mengoptimalkan parameter produksi roti manis secara simultan terhadap respons kadar air, kadar abu, dan tekstur. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi operasi optimal pada suhu 180°C dan waktu 10 menit. Secara statistik, waktu pemanggangan teridentifikasi sebagai determinan utama bagi variabilitas kadar air (55,9%) dan tekstur (79,1%), sementara suhu mendominasi variabilitas kadar abu (74,1%). Pendekatan ini terbukti efisien dengan mereduksi beban eksperimental sebesar 67%, serta menunjukkan validitas model yang tinggi melalui deviasi prediksi <2% dan reprodusibilitas proses yang unggul (CV <0,5%). Implementasi praktis pada skala UKM *bakery* mengonfirmasi signifikansi temuan ini. Penerapan parameter optimal berhasil menurunkan tingkat kecacatan produk dari 4% menjadi 1,2%, meningkatkan konsistensi mutu, serta menghasilkan efisiensi biaya energi sebesar 12%. Dengan demikian, penelitian ini menyediakan kerangka kerja metodologis yang sistematis dan dapat diimplementasikan bagi industri *bakery* skala menengah untuk mencapai standardisasi kualitas dan optimasi sumber daya secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Alifin, Fakhri Ikhwanul, Rana Ardila Rahma, Ikhwanussafa Sadidan, and Risma Fitriani. 2023. "Quality Improvement of Food Products Using Taguchi Method: A Study in a Bread Product SME." *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering* 15(2):121. doi:10.22441/oe.2023.v15.i2.078.

Anderson, Mark J., and Patrick J. Whitcomb. 2017. *DOE Simplified: Practical Tools for Effective Experimentation*. 3rd ed. Productivity Press.

Baker, Monya. 2016. "1,500 Scientists Lift the Lid on Reproducibility." *Nature* 533(7604):452–54. doi:10.1038/533452a.

Chen, Weijun, Hoi Tung Chiu, Ziqian Feng, Evelyne Maes, and Luca Serventi. 2021. "Effect of Spray-Drying and Freeze-Drying on the Composition, Physical Properties, and Sensory Quality of Pea Processing Water (Liluva)." *Foods* 10(6):1401. doi:10.3390/foods10061401.

Chung, Pei-Ling, Ean-Tun Liaw, Mohsen Gavahian, and Ho-Hsien Chen. 2020. "Development and Optimization of Djulis Sourdough Bread Using Taguchi Grey Relational Analysis." *Foods* 9(9):1149. doi:10.3390/foods9091149.

Devi Dwi Siskawardani, Warkoyo Warkoyo, and Jumpen Onthong. 2021. "Sweet Bread Chemical Properties Optimalization Based on Baking Temperature and Duration." *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal* 1–7. doi:10.20956/canrea.v4i1.416.

Goodman, Steven N., Daniele Fanelli, and John P. A. Ioannidis. 2016. "What Does Research Reproducibility Mean?" *Science Translational Medicine* 8(341). doi:10.1126/scitranslmed.aaf5027.

Hirte, Anita, Rob J. Hamer, Marcel B. J. Meinders, and Cristina Primo-Martín. 2010. "Permeability of Crust Is Key to Crispness Retention." *Journal of Cereal Science* 52(2):129–35. doi:10.1016/j.jcs.2010.04.004.

Horwitz, W., and G. W. Latimer. 2005. "Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edGaithersburg." *AOAC International: Rockville, MD, USA*.

Jekle, Mario, Andreas Fuchs, and Thomas Becker. 2018. "A Normalized Texture Profile Analysis Approach to Evaluate Firming Kinetics of Bread Crumbs Independent from Its Initial Texture." *Journal of Cereal Science* 81:147–52. doi:10.1016/j.jcs.2018.04.007.

Nalbant, M., H. Gökkaya, and G. Sur. 2007. "Application of Taguchi Method in the Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness in Turning." *Materials & Design* 28(4):1379–85. doi:10.1016/j.matdes.2006.01.008.

Park, Sung H., and Jiju Antony. 2026. *Robust Design for Quality Engineering and Six Sigma*. 2nd ed. WORLD SCIENTIFIC.

S. C. Nwanya and B. C. Okonkwo. 2018. "Determination of Optimal Temperature, Blend Ratio and Plasticity Properties of Composite Bread Product Using Response Surface Methodology." *Journal of Energy and Power Engineering* 12(8). doi:10.17265/1934-8975/2018.08.002.

Sammartano, Antonino, Silvia Migliari, Giulio Serreli, Maura Scarlattei, Giorgio Baldari, and Livia Ruffini. 2023. "Validation of the HPLC Analytical Method for the Determination of Chemical and Radiochemical Purity of Ga-68-DOTATATE." *Indian Journal of Nuclear Medicine* 38(1):1–7. doi:10.4103/ijnm.ijnm_11_22.

Taguchi, Genichi, Subir Chowdhury, and Yuin Wu. 2004. *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. 1st ed. Wiley.

Zhang, Qi, Pei Liu, Yanhong Ma, Yuhua Diao, Ying Gu, and Xuejing Fan. 2025. "Research Progress on Generation, Detection and Control of Hazards in Baked Foods during Thermal Processing." *Food Chemistry: X* 32:103252. doi:10.1016/j.fochx.2025.103252.

Zhang, Yuting, Xiaorong Liu, Junbo Yu, Yang Fu, Xiangjun Liu, Ku Li, Dongfang Yan, Francisco J. Barba, Emlia Ferrer, Xuedong Wang, and Jianjun Zhou. 2024. "Effects of Wheat Oligopeptide on the Baking and Retrogradation Properties of Bread Rolls: Evaluation of Crumb Hardness, Moisture Content, and Starch Crystallization." *Foods* 13(3):397. doi:10.3390/foods13030397.

Zhu, Jinxing, Yuan Liu, Chuanhe Zhu, and Min Wei. 2022. "Effects of Different Drying Methods on the Physical Properties and Sensory Characteristics of Apple Chip Snacks." *LWT* 154:112829. doi:10.1016/j.lwt.2021.112829.