

KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA DAN ORGANOLEPTIK BOLU BERBASIS TERIGU-GARUT (*Maranta arundinacea*) DENGAN FORTIFIKASI BUBUK DAUN KELOR (*Moringa oleifera*)

Physicochemical and Organoleptic Characteristics of Wheat-Arrowroot (*Maranta arundinacea*) Based Yeast-Leavened Cake Fortified with Moringa Leaf Powder (*Moringa oleifera*)

Devi Fitri Astuti^{1a}, Bunga Aisyah Nugrahini¹, M. Handan Afrizal¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Duta Bangsa Surakarta;

^aKorespondensi : Devi Fitri Astuti, E-mail: dev_i_fitri@udb.ac.id

Diterima: 16 – 02 – 2026 , Disetujui: 01 – 03 - 2026

ABSTRACT

The high dependency on wheat imports and the increasing demand for functional foods have driven the utilization of local carbohydrate sources such as arrowroot flour (*Maranta arundinacea*) and antioxidant-rich ingredients like Moringa leaf powder (*Moringa oleifera*). This study aimed to optimize the formulation of a yeast-leavened cake based on wheat-arrowroot composite flour fortified with Moringa leaf powder and to evaluate its effects on physicochemical and organoleptic characteristics. The research was designed using a Factorial Completely Randomized Design (CRD) with two factors: the proportion of arrowroot flour (0%, 25%, 50%) and the concentration of Moringa leaf powder (0 g, 2 g, 4 g). The results indicated that the interaction between the two factors significantly influenced ($P < 0.05$) all parameters. The optimal treatment was obtained from the G2K2 formulation. This product exhibited the highest expansion ratio of 81.50%, characterized by the softest crumb structure and uniform porosity. Chemically, the G2K2 sample possessed a pH value of 7.15, a moisture content of 23.20%, and very strong antioxidant activity, with a Radical Scavenging Activity (%RSA) reaching 88.30%. Organoleptically, the G2K1 formulation was the most preferred by panelists (score 5.00/Very Liked); however, G2K2 maintained good acceptability with the added advantage of higher functional value. In conclusion, the combination of arrowroot flour and Moringa powder is capable of producing a cake that is not only superior in texture and sensory attributes but also holds potential as an antioxidant-rich functional food.

Keywords: yeast-leavened cake, functional food, moringa leaf, arrowroot flour, antioxidant.

ABSTRAK

Ketergantungan terhadap impor gandum dan meningkatnya permintaan pangan fungsional, mendorong pemanfaatan sumber karbohidrat lokal seperti tepung garut (*Maranta arundinacea*) dan bahan kaya antioksidan seperti daun kelor (*Moringa oleifera*). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan formulasi bolu berbasis tepung komposit terigu-garut dengan fortifikasi bubuk daun kelor, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik fisikokimia dan organoleptik. Penelitian dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor: proporsi tepung garut (0%, 25%, 50%) dan konsentrasi bubuk daun kelor (0 g, 2 g, 4 g). Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi kedua faktor berpengaruh signifikan ($P < 0,05$) terhadap seluruh parameter. Perlakuan terbaik diperoleh pada formulasi G2K2. Produk ini memiliki rasio pengembangan tertinggi sebesar 81,50% dengan struktur remah yang paling lembut dan berpori seragam. Secara kimia, sampel G2K2 memiliki nilai pH 7,15, kadar air 23,20%, dan aktivitas antioksidan sangat kuat dengan nilai Radical Scavenging Activity (%RSA) mencapai 88,30%. Secara organoleptik, formulasi G2K1 paling disukai panelis (skor 5,00/Sangat Suka), namun G2K2 tetap memiliki akseptabilitas yang baik dengan keunggulan nilai fungsional yang lebih tinggi. Kesimpulannya kombinasi tepung garut dan bubuk daun kelor mampu menghasilkan bolu yang tidak hanya unggul secara tekstur dan sensoris, tetapi juga berpotensi sebagai pangan fungsional kaya antioksidan.

Kata kunci: bolu, pangan fungsional, daun kelor, tepung garut, antioksidan

Astuti, D. F., Nugrahini, B. A., & Afrizal, M. H. Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Bolu Berbasis Terigu-Garut (*Maranta arundinacea*) dengan Fortifikasi Bubuk Daun Kelor (*Moringa oleifera*) . Jurnal Ilmiah Pangan Halal, 8(1), 31–41. <https://doi.org/10.30997/jiph.v8i1.24273>

PENDAHULUAN

Industri *bakery* di Indonesia terus mengalami pertumbuhan seiring dengan pergeseran pola konsumsi masyarakat. Salah satu produk yang populer adalah bolu yang dikenal karena karakteristik teksturnya yang empuk dan cita rasa yang manis. Saat ini, produk bolu konvensional menghadapi tantangan terkait nilai gizi dan keberlanjutan bahan baku. Sebagian besar bolu di pasar masih menggunakan tepung terigu sebagai bahan utama yang seluruhnya berasal dari komoditas gandum impor. Volume impor gandum Indonesia saat ini telah menembus angka 10,54 juta ton per tahun (Ibrohim et al., 2025), yang menunjukkan ketergantungan industri pangan terhadap bahan baku impor masih tinggi untuk memenuhi kebutuhan produksi tepung terigu nasional. Selain itu, keterbatasan kandungan senyawa bioaktif pada tepung terigu menyebabkan bolu sering dianggap sebagai pangan tinggi kalori namun rendah densitas mikronutrien.

Tepung garut merupakan salah satu sumber karbohidrat lokal yang dapat digunakan untuk mereduksi ketergantungan pada gandum (Deswina & Priadi, 2020). Tanaman umbi-umbian ini memiliki indeks glikemik yang lebih rendah dibandingkan tepung terigu sebesar 14 (Gama et al., 2020), sehingga lebih aman bagi kesehatan. Pati garut memiliki ukuran granula yang halus yang mampu memberikan kontribusi positif terhadap kelembutan remah (*crumb*) pada produk bolu (Widanti et al., 2021). Penelitian terdahulu oleh Sindhu (2024) menunjukkan bahwa penggunaan tepung komposit garut memberikan pengaruh nyata terhadap kualitas fisik dan organoleptik *yeast-leavened cake*. Namun, substitusi tepung non-gluten seperti garut dalam konsentrasi tinggi sering kali menyebabkan penurunan volume pengembangan karena tidak adanya protein gluten yang elastis.

Daun kelor merupakan bahan pangan fungsional yang mengandung senyawa bioaktif tinggi, seperti flavonoid, fenolik, dan berbagai vitamin yang berperan aktif sebagai antioksidan alami (Olvera-Aguirre et al., 2022). Penambahan bubuk daun kelor diharapkan dapat meningkatkan nilai *Radical Scavenging Activity* (%RSA) pada bolu. Namun, penggunaan bubuk daun kelor dalam jumlah banyak dapat menimbulkan aroma langu (*beany flavor*) dan rasa pahit yang khas akibat kandungan klorofil dan tanin yang dikandungnya. Tingginya kandungan serat kasar pada daun kelor juga berpotensi mengganggu matriks gluten adonan yang mengakibatkan tekstur produk cenderung menjadi lebih padat.

Penelitian ini berfokus pada optimasi bolu berbasis tepung komposit terigu-garut dengan penambahan kelor pada tingkat maksimal. Hal ini sejalan dengan penelitian Raharja et al. (2025) yang mengkaji pengaruh variasi proporsi tepung garut dan penambahan bubuk daun kelor terhadap sifat sensori produk biskuit. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada upaya optimasi kombinasi substitusi tepung garut dan fortifikasi bubuk daun kelor untuk menghasilkan bolu fungsional yang memiliki nilai gizi. Penelitian berfokus pada kemampuan pati garut untuk menjaga kelembapan adonan dan penambahan bubuk daun kelor. Penelitian ini dilakukan untuk menciptakan standar formula bolu sehat berbasis bahan lokal yang berkualitas baik dari segi gizi maupun tekstur fisiknya. Berbeda dengan studi terdahulu yang berfokus pada produk biskuit, penelitian ini mengevaluasi keterkaitan antara kemampuan pati garut dalam menjaga kelembapan (*moistness*) adonan non-gluten dengan pemanfaatan mineral esensial dalam bubuk daun kelor sebagai kofaktor enzim untuk menstimulasi aktivitas ragi. Optimasi ini diarahkan untuk mengatasi masalah volume pengembangan pada adonan substitusi tinggi sekaligus mencapai target aktivitas antioksidan kategori “sangat kuat” melalui kondisi pemanggangan yang terkontrol.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan formulasi bolu terbaik melalui variasi substitusi tepung garut dan konsentrasi bubuk daun kelor. Secara spesifik, penelitian ini mengevaluasi pengaruh perlakuan terhadap sifat fisik (rasio pengembangan dan warna),

sifat kimia (pH, kadar air, dan aktivitas antioksidan), serta tingkat penerimaan panelis melalui uji organoleptik. Hasil dari penelitian ini diharapkan tercipta produk bolu yang tidak hanya memenuhi standar mutu fisikokimia, tetapi juga memberikan manfaat fungsional nyata sebagai pangan kaya antioksidan bagi masyarakat.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung terigu protein sedang (Segitiga Biru), tepung garut (Lingkar Organik), bubuk daun kelor (Moira), ragi instan (Fermipan). Bahan tambahan pendukung meliputi telur ayam, gula pasir (Gulaku), margarin (Palmia), *baking powder* (Koepoe-Koepoe), dan *emulsifier* atau SP (Koepoe-Koepoe). Bahan kimia untuk analisis meliputi akuades, larutan DPPH (*1,1 diphenyl-2-picrylhydrazyl*) (Sigma-Aldrich), dan etanol pa 96% (Merck), dan kertas saring Whatman no. 42.

Metode

Alat yang digunakan dalam proses pembuatan bolu meliputi timbangan digital (Camry EK5055), *mixer* (Philips HR1559), kain, oven listrik (Kirrin KBO-190LW), dan loyang. Peralatan untuk analisis fisikokimia antara lain pH meter (Hanna Instruments HI98107), cawan porselen (Haldenwanger), Oven (kirrin), desikator (Duran), timbangan analitik (Ohaus Pioneer PA214), serta spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800).

Desain eksperimen

Penelitian ini dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan pola faktorial yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah proporsi tepung garut (G) yang terbagi menjadi tiga taraf, yaitu G0 (0%), G1 (25%), dan G2 (50%). Faktor kedua adalah variasi konsentrasi bubuk daun kelor (K) yang juga terdiri atas tiga taraf, meliputi K0 (0 g), K1 (2 g), dan K2 (4 g). Setiap kombinasi perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali sehingga diperoleh 18 unit percobaan. Data yang dikumpulkan selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh nyata antarperlakuan. Apabila hasil pengujian menunjukkan pengaruh yang signifikan, maka dilakukan analisis perbandingan nilai rata-rata menggunakan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 95%. Formulasi bolu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi bolu

Variasi tepung garut	Variasi penambahan bubuk daun kelor		
	K0	K1	K2
G0	G0K0	G0K1	G0K2
G1	G1K0	G1K1	G1K2
G2	G2K0	G2K1	G2K2

Keterangan :

G0 : Penambahan tepung garut 0%

G1 : Penambahan tepung garut 25%

G2 : Penambahan tepung garut 50%

K0 : Penambahan bubuk daun kelor 0 g

K1 : Penambahan bubuk daun kelor 2 g

K2 : Penambahan bubuk daun kelor 4 g

Prosedur Pembuatan Bolu

Proses pembuatan bolu dilakukan melalui beberapa tahap yang dimulai dengan persiapan bahan sesuai formulasi perlakuan. Formulasi dasar untuk satu unit percobaan terdiri dari campuran tepung (terigu dan tepung garut) dengan total berat tepung 100 g, telur ayam 50 g, gula pasir 50 g, margarin 30 g, ragi instan 2 g, *baking powder* 1 g, dan *emulsifier* 1

g. Variasi perlakuan diterapkan pada komposisi tepung komposit dengan proporsi tepung garut sebesar 0% (0 g), 25% (25 g), dan 50% (50 g), serta penambahan bubuk daun kelor sesuai dosis perlakuan yaitu 0 g, 2 g, dan 4 g. Formulasi ini didasarkan pada proses trial yang telah dilakukan peneliti.

Tahap pertama dimulai dengan aktivasi ragi instan menggunakan sedikit air hangat. Telur dan gula dikocok menggunakan *mixer* (Philips HR1559) dengan kecepatan tinggi hingga adonan mengembang, kaku, dan berwarna putih (tahap *creaming*). Selanjutnya, campuran tepung terigu, tepung garut, dan bubuk daun kelor berdasarkan formulasi dimasukkan secara bertahap sambil diaduk dengan kecepatan rendah agar tercampur merata.

Larutan ragi kemudian dicampurkan ke dalam adonan bersama dengan margarin cair menggunakan teknik aduk balik (*folding method*). Adonan yang telah homogen dipindahkan ke dalam baskom yang ditutup kain untuk menjalani tahap *proofing* selama 45 menit pada suhu ruang agar ragi menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂). Setelah volume adonan meningkat, adonan dituang ke dalam loyang yang telah diolesi margarin dan dipanggang di dalam oven (Kirrin KBO-190LW) pada suhu 120 °C selama 35 menit. Bolu yang telah matang kemudian dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang sebelum dilakukan analisis fisik, organoleptik, dan kimia. Tahapan-tahapan penelitian tersebut berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh

Prosedur Analisis

1. Analisis Fisik

Rasio pengembangan

Rasio pengembangan merupakan parameter fisik yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas fermentasi ragi *Saccharomyces cerevisiae* dan kemampuan matriks adonan dalam memerangkap gas CO₂. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan volume bolu setelah matang dengan volume adonan awal. Rumus rasio pengembangan disajikan sebagai berikut.

$$\text{Susut bobot (\%)} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan:

V₁ = Volume adonan sebelum dipanggang (g)

V₂ = Volume bolu setelah didinginkan (g)

2. Analisis Kimia

Derajat Keasaman (pH)

Sampel sebanyak 5 g dilarutkan dalam 50 ml akuades (1:10), kemudian diukur menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi.

Kadar Air (Metode Gravimetri)

Penentuan kadar air dilakukan menggunakan metode pengeringan oven berdasarkan standar (AOAC, 1984). Sebanyak 2 g sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C hingga mencapai berat konstan. Selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan digunakan untuk menentukan persentase kadar air.

Aktivitas Antioksidan (%RSA)

Pengujian aktivitas antioksidan dilakukan dengan metode DPPH (*2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl*) berdasarkan prosedur Tamaroh et al. (2023) yang telah dimodifikasi. Sampel sebanyak 1 g diekstrak menggunakan etanol pa 96% sebanyak 10 mL, kemudian dicampurkan dengan larutan DPPH 0,1 mM. Setelah diinkubasi di tempat gelap selama 30 menit, absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm. Nilai antioksidan dinyatakan dalam persentase *Radical Scavenging Activity* (%RSA). Rumus aktivitas antioksidan dihitung sebagai berikut.

$$\text{Aktivitas antioksidan (\% RSA)} = \frac{\text{Abs kontrol} - \text{Abs sampel}}{\text{Abs kontrol}} \times 100\% \quad (1)$$

Uji Organoleptik (Sensoris)

Uji sensoris dilakukan menggunakan metode uji hedonik. Penilaian melibatkan 13 orang panelis tidak terlatih untuk mengevaluasi tingkat kesukaan terhadap parameter warna, aroma, rasa, dan tekstur. Skala penilaian yang digunakan adalah skala *likert* 1–5 (1 = sangat tidak suka; 2 = tidak suka; 3 = agak suka/netral; 4 = suka; 5 = sangat suka).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik

Rasio pengembangan (%)

Rasio pengembangan merupakan indikator fisik yang mencerminkan efektivitas aktivitas fermentasi ragi serta kemampuan matriks adonan dalam memerangkap gas. Parameter ini dihitung untuk mengetahui seberapa besar peningkatan volume produk setelah melalui proses pemanggangan dibandingkan dengan volume adonan awal. Data rasio pengembangan bolu disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rasio pengembangan bolu (%)

Penambahan tepung garut (%)	Perlakuan penambahan bubuk daun kelor (g)		
	K0 (0)	K1 (2)	K2 (4)
G0 (0)	6,00±1,41 ^a	12,50±3,55 ^{ab}	17,50±3,55 ^{bc}
G1 (25)	9,50±2,12 ^a	21,50±4,95 ^c	38,50±4,95 ^e
G2 (50)	13,5±2,12 ^{ab}	30,00±2,83 ^d	81,50±2,12 ^f

Keterangan: angka yang diikuti huruf superscript yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata dengan taraf signifikansi 95%

Berdasarkan Tabel 2, interaksi antara substitusi tepung garut dan penambahan bubuk daun kelor memberikan pengaruh yang signifikan ($P < 0,05$) terhadap rasio pengembangan bolu. Perlakuan G2K2 (pati garut 50% dan kelor 4 g) menghasilkan rasio pengembangan tertinggi yaitu 81,50%, yang menunjukkan peningkatan volume hampir dua kali lipat dibandingkan volume adonan awal.

Peningkatan volume ini mengindikasikan bahwa bubuk daun kelor memiliki mineral esensial, khususnya Mg dan Ca. Mineral-mineral tersebut diduga berfungsi sebagai kofaktor enzim yang mempercepat metabolisme ragi dalam memproduksi gas CO₂ selama tahap *proofing* (Dai et al., 2020). Akibatnya, tekanan gas di dalam adonan meningkat dan menyebabkan volume memuai secara maksimal saat terkena panas oven, sebelum struktur produk menjadi kokoh. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Koriyama et al. (2025) yang menyatakan bahwa kandungan mineral dalam kelor dapat mengoptimalkan aktivitas ragi sehingga meningkatkan volume pengembangan produk pangan. Penggunaan tepung garut juga berperan dalam menjaga kestabilan struktur bolu. Pati garut memiliki karakteristik granula yang halus dan daya ikat air yang kuat. Menurut Malki et al. (2023), pati garut mampu membentuk matriks film yang fleksibel melalui proses gelatinisasi. Matriks film sangat efektif dalam memerangkap gelembung gas yang dihasilkan ragi, sehingga bolu tidak mudah kempis dan menghasilkan struktur pori yang seragam. Kombinasi kelor dan pati garut terbukti efektif meningkatkan volume bolu. Hal ini terlihat pada perlakuan G2K2 yang mengembang hingga 81,50%, sedangkan tanpa tambahan bahan tersebut (G0K0) hanya mengembang 6,00%.

Warna

Pengamatan warna bolu secara visual disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Warna bolu secara visual

Penambahan tepung garut (%)	Perlakuan penambahan bubuk daun kelor (g)		
	K0 (0)	K1 (2)	K2 (4)
G0 (0)	L	M	M
G1 (25)	L	M	D
G2 (50)	L	M	D

Keterangan: L = *Light/Cerah*, M = *Medium/Sedang*, D = *Dark/Gelap*

Hasil pengamatan terhadap warna visual bolu menunjukkan bahwa penambahan bubuk daun kelor memberikan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan substitusi tepung garut. Pada perlakuan kontrol dan tanpa penambahan kelor (G0K0, G1K0, G2K0), warna bolu dikategorikan sebagai *Light* (L) atau cerah. Warna ini secara alami terbentuk melalui reaksi *Maillard* dan karamelisasi gula selama proses pemanggangan pada suhu 120 °C. Namun, seiring dengan peningkatan konsentrasi bubuk daun kelor menjadi 2 g, warna bolu berubah secara konsisten menjadi *Medium* (M) atau sedang, dan mencapai intensitas *Dark* (D) atau gelap pada penambahan 4 g, khususnya pada perlakuan substitusi tepung garut 25% dan 50%. Perubahan warna menjadi lebih gelap diduga disebabkan oleh tingginya kandungan pigmen klorofil pada daun kelor. Menurut Hasizah et al. (2023), pigmen klorofil pada bubuk daun kelor memiliki intensitas warna hijau yang pekat dan cenderung stabil terhadap suhu pemanggangan. Klorofil pada daun akan menutupi warna kuning kecokelatan dari kerak bolu (*crust*), sehingga menghasilkan gradasi warna hijau gelap pada produk akhir. Karakteristik warna yang gelap pada perlakuan G2K2 juga menunjukkan tingginya retensi senyawa bioaktif (seperti flavonoid) yang tidak mengalami degradasi berlebih selama pemanggangan.

Hasil Analisis Sensoris

Hasil analisis sensoris bolu disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis sensoris bolu

Perlakuan	Tingkat kesukaan				
	Warna	Aroma	Rasa	Tekstur	Keseluruhan
G0K0	3.23±0.44 ^b	3.23±0.44 ^b	3.08±0.28 ^b	3.23±0.044 ^c	3.00±0.00 ^b
G0K1	3.08±0.49 ^b	3.23±0.44 ^b	4.00±0.00 ^{cd}	2.62±0.51 ^b	3.69±0.63 ^c
G0K2	3.77±0.44 ^c	3.15±0.38 ^b	3.77±4.39 ^c	4.15±0.69 ^d	4.00±0.00 ^d
G1K0	3.31±0.48 ^b	2.92±0.49 ^{ab}	3.00±0.00 ^b	3.15±0.38 ^c	3.00±0.00 ^b
G1K1	2.23±0.44 ^a	2.69±0.48 ^a	2.15±0.38 ^a	2.15±0.38 ^a	2.15±0.38 ^a
G1K2	3.77±0.44 ^c	4.15±0.38 ^d	4.15±0.38 ^d	4.15±0.38 ^d	4.00±0.00 ^d
G2K0	3.31±0.48 ^b	3.92±0.28 ^d	4.77±0.44 ^e	3.38±0.51 ^c	4.85±0.38 ^e
G2K1	4.77±0.44 ^e	3.69±0.48 ^c	4.77±0.44 ^e	3.38±0.51 ^c	5.00±0.00 ^e
G2K2	4.15±0.38 ^d	4.15±0.38 ^d	4.15±0.38 ^d	4.69±0.48 ^e	4.00±0.00 ^d

Keterangan: angka yang diikuti huruf superscript yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata dengan taraf signifikansi 95%

Warna

Parameter warna menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) antar perlakuan. Nilai kesukaan warna tertinggi diperoleh pada perlakuan G2K1 dengan skor 4,77 yang menunjukkan tingkat kesukaan sangat tinggi. Panelis cenderung menyukai warna hijau yang dihasilkan oleh daun kelor pada konsentrasi sedang. Menurut Roca et al. (2024), pigmen klorofil memberikan daya tarik visual yang unik pada produk pangan fungsional. Sebaliknya, skor terendah pada perlakuan G1K1 sebesar 2,23 diduga karena kombinasi warna yang dihasilkan kurang kontras atau dianggap tidak lazim oleh panelis.

Aroma

Penilaian aroma memiliki rentang skor antara 2,69 hingga 4,15. Perlakuan G1K2 dan G2K2 memperoleh skor tertinggi sebesar 4,15, yang menunjukkan bahwa panelis menyukai aroma khas daun kelor pada konsentrasi tinggi ketika dikombinasikan dengan tepung garut. Aroma khas ini berasal dari senyawa volatil dalam daun kelor yang memberikan kesan segar. Namun, pada perlakuan G1K1, aroma mendapatkan nilai terendah sebesar 2,69. Hal ini sejalan dengan pernyataan Ramesh et al. (2025) bahwa aroma "langu" (*beany flavor*) dari kelor kadang memberikan respon yang berbeda pada panelis tergantung pada rasio pencampurannya dengan tepung komposit.

Rasa

Parameter rasa menunjukkan hasil yang sangat signifikan, di mana perlakuan G2K0 dan G2K1 mendapatkan skor tertinggi yaitu 4,77. Penggunaan tepung garut sebanyak 50% memberikan rasa manis alami yang lebih disukai dibandingkan tepung terigu murni. Menurut Malki et al. (2023), pati garut memiliki profil rasa yang bersih (*clean flavor*) sehingga tidak menutupi rasa asli bahan tambahan lainnya. Penambahan kelor hingga 2 g masih sangat diterima, namun pada konsentrasi yang lebih rendah yaitu G1K2, rasa bolu kurang disukai panelis.

Tekstur

Tingkat kesukaan terhadap tekstur tertinggi diraih oleh perlakuan G2K2 dengan skor 4,69. Hal ini berkaitan dengan rasio pengembangan bolu yang sebelumnya dibahas, di mana perlakuan dengan tepung garut 50% menghasilkan struktur remah yang paling lembut dan berpori. van Rooyen et al. (2023) menyatakan bahwa tekstur produk *bakery* sangat dipengaruhi oleh kemampuan pati dalam mengikat air dan membentuk struktur pori yang seragam. Hal ini membuktikan bahwa meskipun tanpa gluten penuh, kombinasi garut dan daun kelor mampu menciptakan tekstur yang sangat disukai konsumen.

Keseluruhan

Secara keseluruhan, perlakuan G2K1 merupakan formulasi yang paling disukai dengan skor tertinggi sebesar 5,00, diikuti oleh perlakuan G2K0. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi tepung garut hingga 50% dengan penambahan bubuk daun kelor 2 g menghasilkan produk yang paling harmonis dari segi visual, aroma, rasa, maupun tekstur. Hal ini membuktikan bahwa pemanfaatan bahan lokal seperti tepung garut dan daun kelor tidak hanya meningkatkan nilai fungsional produk, tetapi juga meningkatkan nilai komersial melalui preferensi konsumen yang tinggi.

Sifat kimia

Tingkat keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter kimia yang krusial untuk mengevaluasi aktivitas metabolik mikroorganisme selama proses fermentasi adonan bolu. Hasil analisis pH bolu disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis pH Bolu

Penambahan tepung garut (%)	Perlakuan penambahan bubuk daun kelor (g)		
	K0 (0)	K1 (2)	K2 (4)
G0 (0)	8,04±0,03 ^h	7.64±0.03 ^c	7.12±0.03 ^a
G1 (25)	7.96±0.03 ^g	7.88±0.03 ^f	7.40±0.03 ^b
G2 (50)	7.80±0.03 ^e	7.72±0.03 ^d	7.15±0.04 ^a

Keterangan: angka yang diikuti huruf superscript yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata dengan taraf signifikansi 95%

Berdasarkan Tabel 5, hasil analisis menunjukkan bahwa interaksi antara proporsi tepung garut dan konsentrasi bubuk daun kelor berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap nilai pH produk akhir. Secara umum, terlihat adanya tren penurunan nilai pH seiring dengan meningkatnya konsentrasi bubuk daun kelor pada setiap penambahan konsentrasi tepung garut.

Nilai pH tertinggi ditemukan pada perlakuan kontrol (G0K0) sebesar 8,04, sedangkan nilai pH terendah ditemukan pada perlakuan G0K2 sebesar 7,12 dan G2K2 sebesar 7,15. Penurunan nilai pH berkaitan erat dengan aktivitas ragi. Hal ini diduga dipengaruhi kuat oleh penggunaan *baking powder* dan ragi dalam formulasi adonan. Selama tahap *proofing*, ragi memecah karbohidrat (pati garut dan gula) menjadi gas CO_2 dan asam-asam organik bebas seperti asam asetat, asam laktat, dan asam suksinat. Menurut Zeng et al. (2023), penurunan pH adonan merupakan tanda bahwa fermentasi berjalan efektif, di mana akumulasi asam organik akan menurunkan derajat keasaman lingkungan adonan. Penambahan bubuk daun kelor juga diduga memberikan kontribusi terhadap laju penurunan pH tersebut. Tepung garut dan bubuk daun kelor memiliki kandungan mineral yang tinggi, seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan kalium (K). Mineral-mineral ini dapat berperan sebagai *buffer* yang mempertahankan pH adonan pada level tertentu. Kandungan klorofil dalam bubuk daun kelor juga diketahui memiliki sifat cenderung basa, sehingga pada konsentrasi yang lebih tinggi, kelor membantu menstabilkan pH agar tidak turun terlalu drastis ke arah asam. Penelitian (Shaidah et al., 2024), menjelaskan bahwa senyawa fenolik dalam kelor dapat memengaruhi kesetimbangan ion dalam matriks bolu. Perlakuan terbaik ditunjukkan oleh perlakuan G2K2 dengan produk tetap berada pada level yang aman dan diterima secara organoleptik.

Kadar air

Kadar air merupakan parameter krusial yang menentukan karakteristik tekstur, kelembutan, serta masa simpan produk *bakery*. Hasil kadar air bolu disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil kadar air bolu (%)

Penambahan tepung garut (%)	Perlakuan penambahan bubuk daun kelor (g)		
	K0 (0)	K1 (2)	K2 (4)
G0 (0)	22.40±0.21 ^a	33.50±0.35 ^e	22.50±0.35 ^a
G1 (25)	25.10±0.21 ^c	23.25±0.28 ^b	23.65±0.28 ^b
G2 (50)	26.25±0.35 ^d	26.00±0.21 ^d	23.20±0.57 ^b

Keterangan: angka yang diikuti huruf superscript yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata dengan taraf signifikansi 95%

Hasil analisis pada Tabel 6 menunjukkan bahwa interaksi antara penambahan tepung garut dan bubuk daun kelor memberikan pengaruh yang nyata ($P < 0,05$) terhadap kadar air bolu. Rata-rata kadar air yang dihasilkan berkisar antara 22,40% hingga 33,50%, di mana nilai tersebut masih memenuhi standar mutu produk bolu maksimal 40% sesuai dengan SNI 01-3840-1995.

Secara umum, substitusi tepung garut menunjukkan tren peningkatan kadar air. Pada kelompok tanpa penambahan kelor (K0), kadar air meningkat signifikan dari 22,40% (G0) menjadi 26,25% (G2). Fenomena ini disebabkan oleh sifat pati garut yang memiliki *Water Holding Capacity* (WHC) atau daya ikat air yang lebih kuat dibandingkan pati terigu. Menurut Konch et al. (2025), granula pati umbi-umbian seperti garut mampu mengikat molekul air secara lebih efektif ke dalam matriks adonan. Hal ini memungkinkan kelembapan produk tetap terjaga meskipun telah melalui proses termal pada suhu 120 °C, sehingga menghasilkan tekstur yang lebih *moist*.

Penambahan bubuk daun kelor memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap retensi air. Kadar air tertinggi ditemukan pada perlakuan G0K1 (33,50%), yang diduga berkaitan

dengan kemampuan serat kasar daun kelor dalam memerangkap air bebas melalui ikatan hidrogen. Pada perlakuan dengan konsentrasi tertinggi (G2K2), kadar air tercatat stabil pada angka 23,20%. Penurunan kadar air pada konsentrasi kelor yang lebih tinggi ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan total padatan dalam adonan yang secara relatif mengurangi proporsi fase cair. Kadar air kisaran ini sangat menguntungkan bagi produk fungsional karena dapat menekan laju aktivitas mikroorganisme perusak tanpa mengorbankan kelembutan tekstur. Kondisi ini juga berperan penting dalam menjaga integritas senyawa antioksidan dari daun kelor agar tidak mudah terdegradasi secara oksidatif selama masa penyimpanan.

Aktivitas antioksidan

Aktivitas antioksidan merupakan parameter kunci untuk menentukan nilai fungsional bolu yang dihasilkan. Pemilihan sampel G2K2 untuk uji antioksidan didasarkan pada metode *best-candidate selection*, di mana sampel ini mewakili kombinasi optimal antara rasio pengembangan fisik tertinggi dan konsentrasi bubuk daun kelor pada level maksimal. Meskipun desain faktorial mencakup sembilan kombinasi, pengujian antioksidan difokuskan pada perbandingan *baseline* (kontrol) dan perlakuan dengan potensi fungsional tertinggi untuk membuktikan efektivitas fortifikasi kelor dalam sistem bolu. Hasil analisis aktivitas antioksidan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisis aktivitas antioksidan bolu

Perlakuan	Rata-Rata % RSA
G0K0 (kontrol)	5,42
G2K2 (Penambahan garut 50% dan bubuk daun kelor 4 g)	88,30

Berdasarkan Tabel 6, terdapat perbedaan yang sangat kontras antara sampel kontrol dan sampel terpilih. Sampel kontrol hanya menunjukkan aktivitas antioksidan sebesar 5,42%, sedangkan sampel terpilih mencapai 88,30%. Peningkatan aktivitas antioksidan yang sangat signifikan ini secara langsung disebabkan oleh fortifikasi bubuk daun kelor. Daun kelor merupakan sumber senyawa fitokimia yang melimpah, khususnya flavonoid dan polifenol. Menurut Jeyakumar et al. (2020) senyawa fenolik dalam kelor memiliki gugus hidroksil aktif yang mampu mendonorkan atom hidrogen kepada radikal bebas DPPH, sehingga menstabilkan radikal tersebut. Hal ini ditandai dengan perubahan warna larutan uji dari ungu menjadi kuning, yang menunjukkan efektivitas penangkapan radikal bebas. Berdasarkan klasifikasi kekuatan antioksidan, nilai RSA sebesar 88,30% menempatkan produk ini dalam kategori antioksidan sangat kuat (RSA > 80%).

Dari sisi tekstur, penambahan 50% tepung garut menghasilkan remah bolu yang paling lembut dan disukai panelis karena karakteristik pati garut yang halus. Penambahan 4 g bubuk daun kelor memberikan proteksi antioksidan yang maksimal tanpa merusak akseptabilitas sensoris produk. Proses pemanggangan pada suhu 120 °C terbukti mampu mempertahankan integritas senyawa bioaktif tersebut. Hal ini sejalan dengan penelitian Razzak et al. (2022) yang menyatakan bahwa *Moringa oleifera* tetap memiliki stabilitas antioksidan yang baik pada suhu pengolahan yang tinggi.

Walaupun hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa panelis cenderung lebih menyukai formulasi G2K1 karena profil warna dan aroma yang lebih lembut, penelitian ini menunjukkan G2K2 sebagai formulasi optimal secara keseluruhan. Hal ini karena G2K2 memberikan keunggulan signifikan pada parameter objektif, yaitu aktivitas antioksidan yang masuk kategori "sangat kuat" serta rasio pengembangan yang lebih maksimal dibandingkan perlakuan lainnya. Penurunan tingkat kesukaan pada G2K2 masih berada pada batas yang dapat diterima (skor > 4,00), sehingga nilai fungsional yang jauh lebih tinggi menjadi pertimbangan utama dalam standarisasi produk. Keterbatasan penelitian ini terletak pada belum dilakukannya pemetaan aktivitas antioksidan untuk seluruh kombinasi perlakuan.

Namun, data dari perlakuan G2K2 memberikan bukti kuat bahwa interaksi antara pati garut dan kelor pada level tertentu dapat menghasilkan produk pangan fungsional dengan kapasitas antioksidan yang superior tanpa merusak struktur fisik produk.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa interaksi substitusi tepung garut dan fortifikasi bubuk daun kelor secara signifikan meningkatkan kualitas fisikokimia dan organoleptik bolu, dengan perlakuan G2K2 (Garut 50% dan Kelor 4 g) sebagai formulasi terbaik. Sampel terpilih ini secara kualitatif dan kuantitatif menunjukkan karakteristik fisik paling unggul dengan rasio pengembangan sebesar 81,50% yang menghasilkan struktur remah paling lembut, halus, dan berpori seragam. Secara kimia, produk ini memiliki derajat keasaman (pH) sebesar 7,15 yang ideal untuk aktivitas fermentasi, kadar air sebesar 23,20% yang stabil untuk menjaga kelembapan tekstur, serta memiliki nilai fungsional sebagai pangan kaya antioksidan dengan aktivitas sangat kuat sebesar 88,30% RSA. Dari sisi organoleptik, kombinasi ini menghasilkan harmoni warna hijau gelap yang menarik, aroma khas yang segar, serta rasa manis yang paling disukai panelis (skor keseluruhan 5,00), sehingga mampu meningkatkan nilai komersial bolu sebagai produk pangan lokal yang sehat dan fungsional.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. (1984). *Official methods of analysis*. Arlington.
- Dai, J., Tao, L., Shi, C., Yang, S., Li, D., Sheng, J., & Tian, Y. (2020). Fermentation improves calcium bioavailability in *Moringa oleifera* leaves and prevents bone loss in calcium-deficient rats. *Food science & nutrition*, 8(7), 3692–3703.
- Deswina, P., & Priadi, D. (2020). Development of Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) as Functional Food Based of Local Resource. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 439(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/439/1/012041>
- Gama, B. D., Harmayani, E., Arsanti Lestari, L., & Huriyati, E. (2020). Comparison of chemical properties, glycemic index, and glycemic load, between arrowroot (*Maranta arundinacea*) cookies containing glucomannan extract with palm sugar addition. *BIO Web Conf.*, 28. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202803002>
- Hasizah, A., Salengke, S., Djalal, M., Arifin, A. S., & Mochtar, A. A. (2023). Color change and chlorophyll degradation during fluidized bed drying of *Moringa oleifera* leaves. *AIP Conference Proceedings*, 2596(1), 040036. <https://doi.org/10.1063/5.0119526>
- Ibrohim, M., Ardiyansyah, F., & Rudyarta, R. (2025). Strategi Indonesia dalam Menekan Ketergantungan Impor Gandum dan Kedelai (2010–2023): Perspektif Ketahanan Ekonomi Nasional. *Arus Jurnal Sosial dan Humaniora*, 5(2), 2410–2420.
- Jeyakumar, N., Narayanasamy, B., Balasubramanian, D., & Viswanathan, K. (2020). Characterization and effect of *Moringa Oleifera* Lam. Antioxidant additive on the storage stability of *Jatropha* biodiesel. *Fuel*, 281, 118614. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118614>
- Konch, H., Gupta, R. K., & Srivastav, P. P. (2025). Novel Frontier of arrowroot starch: Extraction, modification, characterization and application in food industry. *Food Biomacromolecules*, 2(4), 451–470. <https://doi.org/10.1002/fob2.70027>
- Koriyama, T., Kurosu, Y., & Hosoya, T. (2025). Enhancing Bread Quality with Steam-Treated *Moringa (Moringa oleifera)* Powder. *Foods*, 14(6), 927. <https://doi.org/10.3390/foods14060927>
- Malki, M. K. S., Wijesinghe, J. A. A. C., Ratnayake, R. H. M. K., & Thilakarathna, G. C. (2023). Characterization of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch as a potential starch

- source for the food industry. *Heliyon*, 9(9).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20033>
- Olvera-Aguirre, G., Mendoza-Taco, M. M., Moo-Huchin, V. M., Lee-Rangel, H. A., Roque-Jiménez, J. A., Gómez-Vázquez, A., Dzib-Cauich, D. A., Vargas-Bello-Pérez, E., & Chay-Canul, A. J. (2022). Effect of Extraction Type on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Lam. Leaves. *Agriculture*, 12(9), 1462.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12091462>
- Raharja, K. T., Sudarmayasa, I. W., & Rahayu, A. N. (2025). Pemanfaatan Tepung Garut dengan Penambahan Tepung Kelor Ditinjau dari Sifat Sensori Biskuit. *Journal of Culinary and Hospitality*, 1(2).
- Ramesh, B., Chauhan, R., Don, P. M. U., Joshi, R., Pansare, S., Modi, Z., Verma, A., Abdur Rahim Imthiaz, F. R., Chaudhary, P., Vashisht, P., Modak, B., Gandhi, G., & Rathnakumar, K. (2025). *Moringa oleifera*: A comprehensive review of its nutritional benefits, functional applications, and future potential in food science. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/jsfa.70388>
- Razzak, A., Roy, K. R., Sadia, U., & Zzaman, W. (2022). Effect of Thermal Processing on Physicochemical and Antioxidant Properties of Raw and Cooked *Moringa oleifera* Lam. Pods. *International Journal of Food Science*, 2022(1), 1502857.
<https://doi.org/10.1155/2022/1502857>
- Roca, M., Chen, K., & Pérez-Gálvez, A. (2024). Chapter 8—Chlorophylls. Dalam R. Schweiggert (Ed.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages (Second Edition)* (hlm. 193–226). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99608-2.00017-3>
- Shaidah, S. N., Afriliana, A., Wibowo, Y., Soekarno, S., & Wiyono, A. E. (2024). Karakterisasi Roti Bolu Manis Berbasis Mocaf (Modified Cassava Flour) Terkomposit Serbuk Daun Kelor Sebagai Sumber Antioksidan Alami. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 25(2), 175–194.
- Sindhu, S. (2024). Exploring the use of gluten-free flours in innovative bakery product development: A comprehensive review. *Exploring the use of gluten-free flours in innovative bakery product development: A comprehensive review*, 12(2), 478–483.
- Tamaroh, S., Suryani, C. L., & Astuti, D. F. A. (2023). Physical, Chemical and Preference Levels of Cendol Substituted with Purple Yam Flour (*Dioscorea alata* L.). *JITIPARI (Jurnal Ilmiah Teknologi dan Industri Pangan UNISRI)*, 8(2), 93–105.
- van Rooyen, J., Simsek, S., Oyeyinka, S. A., & Manley, M. (2023). Wheat starch structure–function relationship in breadmaking: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 2292–2309. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13147>
- Widanti, Y. A., Nur'aini, V., Wulandari, Y. W., & Sari, E. E. K. (2021). Gluten-Free Cake Formulation Using Mocaf and Several Types of Flour from Local Food Ingredients. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 828(1), 012033.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/828/1/012033>
- Zeng, F., Yang, Y., Liu, Q., Yang, J., Jin, Z., & Jiao, A. (2023). Effect of fermentation methods on properties of dough and whole wheat bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(10), 4876–4886.