

Optimasi Formulasi Pasta Ubi Jalar Ungu dan Tepung Terigu terhadap Daya Kembang dan Mutu Hedonik Roti Tawar

Optimization of Purple Sweet Potato Paste and Wheat Flour Formulation on The Expansion Power and Hedonic Quality of White Bread

Mulia W. Apriliyanti^{1,*}, Mokh. F. Kurnianto¹, Wahyu Suryaningsih², Anang S. Saleh³

¹ Program Studi Teknologi Industri Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip PO BOX 164, 68101, Indonesia

² Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip PO BOX 164, 68101, Indonesia

³ Program Studi Keteknikan Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip PO BOX 164, 68101, Indonesia

*Penulis korespondensi: Mulia Winirsya Apriliyanti, e-mail: mulia_apriliyanti@polije.ac.id

ABSTRACT

Bread is a fermented product that undergoes several processing stages, including the mixing of wheat flour, water, yeast, and salt, followed by kneading, fermentation, shaping, and baking. Wheat flour is essential in bread making because its gluten content influences the bread's expansion and texture. In this research, part of the wheat flour was replaced with purple sweet potato paste to reduce reliance on wheat flour. *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki or purple sweet potato, has potential as a functional food due to its rich nutritional profile and naturally vibrant purple color. This study employed a D-Optimal Mixture Design using the optimal custom design expert model, consisting of two factors: purple sweet potato paste 10–60% and wheat flour 40–90%, evaluated across five response variables: expansion power, hedonic quality of crumb color, crumb texture, pore structure, and taste. The analysis was performed using Design-Expert 13 software, involving a total of eight formulations. The optimization results predicted that the formulation containing 60% purple sweet potato paste and 40% wheat flour produced the most optimal white bread, with expansion power of 46.56%, a hedonic score for crumb color of 5.30 (deep purple, a crumb texture score of 5.06 (soft, a pore structure score of 3.58 (moderately uniform, and a taste hedonic score of 5.30 (distinct purple sweet potato flavor, yielding a desirability value of 0.95.

Keywords: Expansion power; hedonic quality; optimization; purple sweet potato paste; white bread

ABSTRAK

Roti merupakan hasil produk fermentasi yang melalui tahapan proses pencampuran tepung terigu, air, ragi, dan garam, kemudian dilakukan pengadonan, proofing, pembentukan, dan pemanggangan. Tepung terigu sebagai salah satu bahan penting dalam pengolahan roti karena kandungan glutennya memengaruhi daya kembang dan tekstur roti. Studi ini menggunakan pasta ubi jalar ungu sebagai pengganti sebagian tepung terigu sehingga mengurangi ketergantungan penggunaan tepung terigu. *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki atau ubi jalar ungu berpotensi sebagai makanan fungsional karena kandungan gizinya dan warna ungu alami yang sangat menarik. Penelitian ini menggunakan metode *D-Optimal Mixture Design* jenis *Optimal Custom Design Expert* yang terdiri dari dua variabel bebas, yaitu pasta ubi jalar ungu (10-60%) dan tepung terigu (40-90%) dengan 5 respon, yaitu daya kembang, mutu hedonik untuk warna roti bagian dalam, tekstur remah, struktur pori-pori, dan rasa. Data dianalisis menggunakan design expert 13 dengan 8 formulasi. Hasil prediksi optimasi menunjukkan formulasi pasta ubi jalar ungu 60% dan tepung terigu 40% menghasilkan roti tawar yang optimal dengan respon daya kembang 46,56%, mutu hedonik warna roti bagian dalam 5,30 (ungu pekat), tekstur

bagian dalam roti/ remah 5,06 (lembut), struktur pori-pori roti 3,58 (cukup seragam), mutu hedonik rasa 5,30 (terasa pasta ubi jalar ungu) dengan desirability 0,95.

Kata kunci: Daya kembang; mutu hedonik; optimasi; pasta ubi jalar ungu; roti tawar

PENDAHULUAN

Roti merupakan produk hasil fermentasi yang dibuat dari tepung terigu, air, ragi, dan garam, kemudian diolah melalui tahapan pencampuran, fermentasi (*proofing*), pembentukan adonan, dan pemanggangan (Oyinloye, 2022). Ada berbagai jenis produk roti, yaitu roti tawar dan roti manis yang perbedaannya dari penambahan jumlah gulanya. Meskipun demikian, secara umum bahan baku utama roti adalah tepung terigu. Tepung ini berperan penting dalam pengolahan roti karena kandungan glutennya memengaruhi tekstur dan pengembangan volume roti. Gluten memiliki peranan yang sangat vital dalam proses pembuatan roti tawar karena sifat viskoelastisitasnya. Sifat gluten yang mampu meregang (ekstensibel) dan tetap elastis sehingga tidak mudah robek saat ditarik dan dapat membentuk lapisan tipis yang berfungsi menahan udara atau gas (Arifin *et al.*, 2023). Gluten merupakan protein cadangan pada tepung terigu, yang tersusun dari kompleks protein seperti gliadin dan glutenin. Namun, kandungan gliadin ini dapat menimbulkan masalah kesehatan, khususnya bagi penderita penyakit celiac dan individu dengan autisme. Oleh sebab itu, diperlukan upaya untuk mengganti tepung terigu yang mengandung gluten dengan alternatif tepung bebas gluten.

Pada setiap tahunnya Indonesia masih mengimpor gandum. Perkembangan volume impor gandum Indonesia tahun 2021-2024 mengalami fluktuasi. Pada tahun 2021 jumlah impor biji gandum sebesar 11.172.000 kg, kemudian pada tahun 2022 mengalami penurunan menjadi 9.350.400 kg. Akan tetapi tahun 2023 meningkat kembali sebesar 10.586.600 kg, dan 11.715.000 kg pada tahun 2024. Impor biji gandum tertinggi berasal dari negara Australia, Argentina, dan Kanada ((Rizqi *et al.*, 2024; Badan Pusat Statistik, 2025). Namun, produksi dan konsumsi roti tawar, roti manis, dan produk bakery lainnya cenderung meningkat. Untuk itu perlu adanya substitusi penggunaan tepung terigu dengan bahan dari komoditas lokal pada pembuatan roti. Hal ini didukung potensi produksi ubi jalar ungu di Jawa yang cukup besar dan menjanjikan. Beberapa varietas unggulan ubi jalar ungu seperti Antin-1 dan Ayamurasaki dapat menghasilkan 15-30 ton per hektar dalam waktu panen relatif singkat sekitar 3,5-6 bulan. Secara khusus, di beberapa daerah di

Jawa Timur seperti Malang, Pasuruan, Mojokerto, dan Banyuwangi merupakan penghasil ubi jalar ungu (Puslitbang Tanaman Pangan, 2025).

Pada penelitian ini mengembangkan inovasi dalam pembuatan roti tawar dengan memanfaatkan pasta ubi jalar ungu. *Ipomoea batatas* L. atau ubi jalar ungu merupakan tanaman pangan tropis yang umum dijumpai di Indonesia. Substitusi sebagian tepung terigu dengan pasta ubi jalar ungu tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap tepung terigu, tetapi juga untuk memanfaatkan kandungan gizi yang terdapat dalam ubi jalar ungu, seperti polifenol, antosianin, vitamin, dan serat. Kandungan fenolik seperti antosianin dapat berperan sebagai antioksidan untuk menghambat radikal bebas (Vidal *et al.*, 2022). Beberapa penelitian melaporkan kandungan antosianin pada ubi jalar ungu segar berkisar 53,94-288,89 mg/ 100 g dengan intensitas warna ungu yang paling dominan dan kapasitas antioksidan mencapai 50,07-82,07% (Kurniasari *et al.*, 2021; Farida *et al.*, 2022).

Penelitian ini menggunakan pendekatan optimasi dengan software Design Expert 13 Version melalui rancangan *D-optimal mixture design* karena pada penelitian sebelumnya masih terbatas pada formulasi roti tawar ubi jalar ungu menggunakan rancangan acak lengkap sehingga belum diketahui respon yang optimal. Rancangan *D-optimal mixture design* membantu untuk menentukan kombinasi bahan yang optimal, sehingga hasil analisis dapat memberikan rekomendasi formulasi yang tepat bagi pengembangan produk roti tawar. Pendekatan tersebut dipilih karena memungkinkan optimasi respon berdasarkan formulasi terbaik dengan mempertimbangkan interaksi antar bahan tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu. Menurut Njapndounke *et al.* (2023) bahwa *D-optimal mixture design* merupakan salah satu teknik statistik yang menyediakan jumlah eksperimen minimal yang perlu dilakukan dan secara sistematis untuk menentukan pengaruh variabel-variabel dalam campuran terhadap atribut kualitas sehingga penelitian akan lebih efisien.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum dari suatu formulasi pasta ubi jalar dan tepung terigu pada pembuatan roti tawar menggunakan metode *D-optimal mixture design* sehingga menghasilkan respon daya kembang, mutu hedonik warna, tekstur

roti bagian dalam/ remah, struktur pori-pori, dan rasa yang optimal. Pemanfaatan ubi jalar ungu dalam substitusi sebagian tepung terigu pada pembuatan roti tawar ini sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap tepung gandum impor. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan produk pangan berbasis ubi jalar ungu yang mengandung antosianin sehingga dapat berpotensi sebagai pangan fungsional.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* var Ayamurasaki) diperoleh dari Pasar Bangil-Kabupaten Pasuruan-Jawa Timur.

Prosedur Penelitian

Formulasi Optimasi dengan *D-optimal mixture design*

Penelitian dirancang berdasarkan metode *mixture design* jenis *Optimal Custom Design* menggunakan perangkat lunak *Design Expert DX* versi 13. Terdapat dua faktor perlakuan yaitu tepung terigu (40-90 %) dan pasta ubi jalar ungu (10-60 %). Respon atau variabel terikat pada penelitian ini adalah daya kembang, mutu hedonik untuk warna roti bagian dalam, tekstur remah, struktur pori-pori, dan rasa. Penentuan model berdasarkan hasil analisis ragam. Model dianggap signifikan apabila nilai $p < 0,05$ sedangkan nilai *Lack of fit F-Value* dikatakan tidak signifikan apabila nilai $p > 0,05$. Ketika model yang bersifat signifikan, hal ini menunjukkan bahwa model tersebut memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap respons dibandingkan model lainnya. Ketidaksignifikanan pada *lack of fit* merupakan indikator model yang digunakan sesuai dan layak, karena menunjukkan bahwa data respons cocok dengan model. Pada tahapan validasi model dapat dinyatakan baik apabila R^2 , *Adjusted R²*, dan *Predicted R²* menunjukkan nilai yang tinggi (Apriliyanti *et al.*,

2020). Batas atas dan bawah untuk perlakuan atau variabel bebas dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan formulasi roti dari hasil run program *design expert* diperoleh 8 perlakuan secara acak, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Prosedur pembuatan roti tawar ubi jalar ungu

Proses pembuatan roti tawar substitusi pasta ubi jalar ungu terdiri dari beberapa tahapan (Adiluhung & Sutrisno, 2018; Apriliyanti *et al.*, 2024). Penimbangan pasta ubi jalar ungu, tepung terigu (Segitiga Biru), serta bahan tambahan lainnya sesuai formulasi pada penelitian ini. Pencampuran seluruh bahan yang digunakan secara bertahap menggunakan *mixer* (Chuseng, Taiwan) kecepatan 1 selama 1 menit, kemudian *shortening* dan air ditambahkan secara perlahan. Pencampuran dilakukan hingga tercampur merata dan membentuk adonan kalis. Adonan yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam cetakan loyang berukuran 20×10×10 cm. Proses fermentasi dengan menggunakan *proofer* (Southstar, China), yang diatur suhunya 35°C, kelembaban 85%, selama 50 menit hingga adonan mengembang. Pemanggangan menggunakan oven multidesk (Maksindo, Indonesia) dengan suhu 200°C selama 40 menit hingga roti matang. Roti yang telah matang ditandai dengan berubahnya warna pada kulit roti bagian luar. Jika telah matang, roti dikeluarkan dari oven dan dilakukan proses pendinginan dengan suhu ruang 35°C selama 45 menit.

Pengujian Daya kembang

Penentuan daya pengembangan pada roti dilakukan dengan mengukur tinggi adonan roti sebelum dilakukan proses pemanggangan dan tinggi roti yang telah dipanggang (Rohman *et al.*, 2019). Pengukuran tinggi dilakukan dengan menggunakan penggaris. Perhitungan daya pengembangan roti diperoleh menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Pengembangan} = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad \dots\dots (1)$$

Keterangan: A = Tinggi awal adonan; B = Tinggi akhir adonan/ roti setelah pemanggangan

Tabel 1.

Batas atas dan bawah konsentrasi tepung terigu dan ubi jalar ungu

Komponen	Batas Bawah	Batas Atas
Tepung Terigu (%)	40	90
Pasta Ubi Jalar Ungu (%)	10	60

Tabel 2.

Formula yang dihasilkan program design expert metode *D-optimal mixture design*

Run	Konsentrasi Tepung Terigu (%)	Konsentrasi Pasta Ubi Jalar Ungu (%)	Respon Daya kembang (%)	Respon Mutu hedonik warna	Respon Mutu hedonik tekstur bagian dalam roti	Respon Mutu hedonik struktur pori-pori roti	Respon Mutu hedonik rasa
1	40	60	...	...	...	...	...
2	90	10	...	...	...	...	...
3	65	35	...	...	...	...	...
4	90	10	...	...	...	...	...
5	40	60	...	...	...	...	...
6	77,5	22,5	...	...	...	...	...
7	52,5	47,5	...	...	...	...	...
8	65	35	...	...	...	...	...

Tabel 3.

Pengaruh variasi konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu terhadap respon daya kembang, mutu hedonik warna, tekstur bagian dalam, struktur pori-pori, dan rasa roti ubi jalar ungu

Run	Konsentrasi tepung terigu (%)	Konsentrasi Pasta ubi jalar ungu (%)	Respon daya kembang (%)	Respon warna	Respon tekstur bagian dalam roti	Respon struktur pori-pori	Respon rasa
1	40	60	42,9	5	5,2	3,65	5,1
2	90	10	59	1	4,3	4,2	2,22
3	65	35	53,3	2,55	3,85	3,95	3,15
4	90	10	56,3	1	3,5	4,45	2,5
5	40	60	46,9	5,75	5	3,6	5,45
6	77,5	22,5	60	1,35	3,6	4	3,6
7	52,5	47,5	52,7	3,1	4	3,55	3,55
8	65	35	53,2	2,15	3,95	4,1	2,95

Pengujian mutu hedonik

Warna, tekstur bagian dalam roti, struktur pori-pori roti, dan rasa roti ubi jalar ungu dilakukan pengujian sensoris dengan atribut mutu hedonik untuk mengetahui kualitas produk ini (Lestaringtyas, 2017 dalam Rohman *et al.*, 2019). Pengujian sensoris dilakukan oleh 30 panelis semi terlatih yang berusia 18-40 tahun yang sebelumnya telah diberikan pengenalan atribut sensori dan simulasi uji coba penilaian sensoris. Panelis diminta untuk menentukan mutu hedonik atau kualitas kesukaan roti ubi jalar ungu berdasarkan warna, tekstur roti, struktur pori-pori, dan rasa sesuai dengan kriteria yang ditetapkan.

Atribut kriteria dan skala mutu hedonik, meliputi warna bagian dalam roti/ remah dengan skala mutu hedonik 7 poin terstruktur (1-putih susu, 2-putih keunguan, 3-ungu muda, 4-ungu agak pekat, 5-ungu pekat, 6-ungu sangat pekat, dan 7-amat ungu sangat pekat); tekstur bagian dalam roti/ remah dengan skala mutu hedonik 7 poin terstruktur (1-sangat kasar, 2-kasar, 3-agak kasar, 4-cukup lembut, 5-lembut, 6-cukup lembut, dan 7-amat

sangat lembut); struktur pori-pori roti dengan skala mutu hedonik 7 poin terstruktur (1-sangat kurang seragam, 2-kurang seragam, 3-agak seragam, 4-cukup seragam, 5-seragam, 6-sangat seragam, dan 7-amat sangat seragam); serta rasa dengan skala mutu hedonik 7 poin terstruktur (1-sangat tidak terasa pasta ubi jalar ungu, 2-tidak terasa pasta ubi jalar ungu, 3-agak cukup terasa pasta ubi jalar ungu, 4-cukup terasa pasta ubi jalar ungu, 5- terasa pasta ubi jalar ungu, 6-sangat terasa pasta ubi jalar ungu, dan 7-amat sangat terasa pasta ubi jalar ungu).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil optimasi terhadap respon daya kembang, mutu hedonik warna, tekstur roti bagian dalam, struktur pori-pori, dan rasa

Hubungan antara variabel bebas, yaitu faktor A tepung terigu dan faktor B pasta ubi jalar ungu terhadap respon Y1 (daya kembang), Y2 (warna), Y3 (tekstur roti bagian dalam), Y4 (struktur pori-pori) dan Y5 (rasa) dapat diketahui berdasarkan

kriteria pemilihan model. Model yang terpilih pada penelitian ini yaitu model special linier, quadratic, dan cubic. Pengaruh antara variabel bebas dan respon dapat diketahui dari analisa ragam (ANOVA). Pada Tabel 3 menunjukkan hasil pengaruh variasi konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu terhadap respon berdasarkan hasil program design expert metode *Mixture D-Optimal Design* pada roti tawar ubi jalar ungu.

Tabel 4 merupakan ringkasan hasil analisa respon optimasi formula konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu terhadap respon daya kembang, mutu hedonik warna, tekstur bagian dalam, struktur pori-pori, dan rasa roti ubi jalar ungu. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh respon daya kembang dengan rentang nilai 42,9-60%. Model polinomial dari respon daya kembang yang disarankan adalah linier. Nilai p-values dari respon daya kembang menunjukkan signifikan dengan nilai $p < 0,05$ (0,0026) dan *lack of fit* $p > 0,05$ (0,1961) menunjukkan tidak signifikan. Menurut Myers *et al.* (2016) bahwa model linier (*first order model*) merepresentasikan hubungan respon Y dengan faktor-faktor X secara linier tanpa adanya suku pangkat lebih tinggi atau interaksi kuadrat. Model ini menggambarkan permukaan respon sederhana dan awal dalam metode *mixture design*, terutama saat rentang faktor penelitian kecil dan hubungan antara faktor dan respons hampir linear. Hal ini menandakan tidak ada interaksi dari kedua faktor konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu terhadap daya kembang roti tawar.

Tabel 3 dan Gambar 1a menunjukkan peningkatan konsentrasi pasta ubi jalar ungu hingga 60% akan menurunkan respon daya kembang dari roti tawar ubi jalar ungu. Pengembangan roti berkisar 42,9-46,9%. Salah satu faktor utama yang

memengaruhi daya kembang roti adalah kadar gluten. Gluten bersumber dari tepung terigu. Gluten akan membentuk jaringan tipis dan elastis yang mampu menahan gas CO₂ hasil fermentasi sehingga akan terjadi pengembangan pada adonan roti. Pengurangan konsentrasi tepung terigu dan penambahan bahan non gluten seperti pasta ubi atau tepung modifikasi akan mengurangi daya kembang roti. Menurut Jia *et al.* (2023) tepung ubi jalar ungu dapat mempercepat agregasi gluten, menurunkan kekuatan jaringan gluten, dan mengurangi energi agregasi, yang memungkinkan peningkatan ikatan disulfida sehingga dapat menyebabkan penurunan daya kembang adonan roti saat fermentasi.

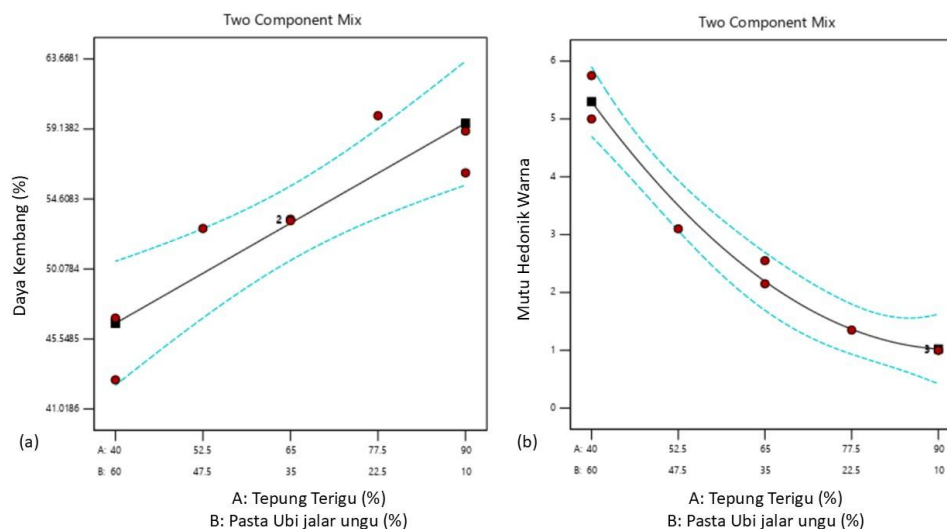
Gambar 1b. menunjukkan grafik hasil optimasi terhadap respon warna dari roti tawar ubi jalar ungu dengan rentang skor mutu hedonik 1-5,75 (putih susu-ungu pekat). Model polinomial dari respon warna yang disarankan adalah quadratic. Model quadratic menunjukkan hubungan non-linier dan interaksi antar faktor. Model quadratic sering digunakan di RSM untuk mengidentifikasi titik optimum (maksimum atau minimum) karena mampu memodelkan kurva dan interaksi kompleks antar variabel (Myers *et al.*, 2016). Hal ini menandakan adanya interaksi konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu memengaruhi warna dari roti tawar ubi ungu. Peningkatan konsentrasi pasta ubi jalar ungu akan menyebabkan nilai warna roti semakin berwarna ungu pekat. Nilai p-values signifikan dengan $p < 0,05$ (0,0160) dan *lack of fit* $p > 0,05$ (0,4832) menunjukkan tidak signifikan.

Warna merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kualitas produk pangan karena warna roti adalah fitur yang terkait erat dengan kualitasnya. Warna roti dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, proporsi masing-masing komponen dalam formulasi, dan kondisi

Tabel 4.

Hasil analisa respon optimasi formula konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu terhadap respon daya kembang, mutu hedonik warna, tekstur bagian dalam, struktur pori-pori, dan rasa roti ubi jalar ungu

Respon	Model	p-value		R ²	Adj R ²	Pred R ²	Adeq. Precision	Persamaan polinomial
		Model	Lack of Fit					
Daya kembang Warna	Linier	0,0026 Sig	0,1961 Not sig	0,8024	0,7695	0,6180	9,3084	59,52A+46,56B
	Quadratic	0,0160 Sig	0,4832 Not sig	0,9741	0,9638	0,9293	20,3942	1,02A+5,30B-3,87AB
Tekstur roti bagian dalam Struktur pori-pori Rasa	Quadratic	0,0313 Sig	0,6915 Not sig	0,8378	0,7729	0,4871	7,6423	3,90A+5,06-2,79AB
	Linier	0,0017 Sig	0,3226 Not sig	0,8279	0,7993	0,7039	10,1320	4,29A+3,57B
	Cubic	0,0169 Sig	0,1595 Not sig	0,9724	0,9517	0,8465	16,1786	2,39A+5,30B-2,55AB+8,04AB(A-B)



Gambar 1. Grafik hasil optimasi formulasi roti tawar dengan variasi konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu menggunakan metode mixture terhadap respon daya kembang (a) dan respon mutu hedonik warna (b)

pemanggangan. Nilai warna sangat memengaruhi daya terima konsumen (Sagar *et al.*, 2021; Ibidapo *et al.*, 2020). Pigmen alami antosianin merupakan sumber warna ungu pada ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas L.*) dengan kandungan sebesar 53,94-288,89 mg/100 g dan kapasitas antioksidan mencapai 50,07-82,07% (Kurniasari *et al.*, 2021; Farida *et al.*, 2022). Kandungan antosianin tergantung pada varietas, iklim, tanah, dan kondisi panen. Selain itu, kandungan terpenting dari suatu umbi-umbian adalah kandungan pati, protein, serat, dan mineralnya yang tinggi. Antosianin adalah senyawa flavonoid dan telah menunjukkan manfaat kesehatan karena sifat antioksidannya (Jiang *et al.*, 2019; Rodríguez-Mena *et al.*, 2023).

Adapun mekanisme antosianin sebagai pewarna alami pada suatu produk roti dengan melibatkan terjadinya perubahan warna berdasarkan kondisi pH dan melalui perubahan struktur ionik serta konfigurasi elektron. Interaksi antosianin dengan komponen bahan makanan lain dapat memodifikasi efek warna suatu produk. Hal ini didukung dari penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa antosianin memberikan warna alami pada produk makanan melalui mekanisme kimia dan fisika yang berkaitan dengan struktur molekulnya dan kondisi lingkungan sekitar, terutama pH. Pada pH rendah (asam), antosianin berwarna merah cerah, sedangkan pada pH netral hingga basa warnanya berubah menjadi ungu atau biru. Perubahan warna ini terjadi karena adanya perubahan struktur ionisasi dan konfigurasi elektron molekul antosianin (Francavilla *et al.*, 2022).

Gambar 2a. menunjukkan grafik hasil optimasi terhadap respon mutu hedonik tekstur roti bagian dalam atau remah roti dengan rentang skor mutu hedonik 3,5-5,2 (agak kasar-lembut). Peningkatan konsentrasi pasta ubi jalar ungu memengaruhi terbentuknya tekstur bagian remah roti tawar ubi jalar ungu menjadi lebih lembut. Model polinomial dari respon tekstur bagian dalam roti yang disarankan adalah quadratic. Model ini menunjukkan hubungan non-linier dan interaksi antar faktor konsentrasi tepung terigu dan konsentrasi pasta ubi jalar ungu memengaruhi tekstur roti bagian dalam roti. Nilai $p < 0,05$ (0,0313) signifikan dan *lack of fit* $p > 0,05$ (0,6915) menunjukkan tidak signifikan.

Pada penelitian ini, penambahan pasta ubi jalar ungu berkontribusi menghasilkan tekstur roti tawar lebih empuk dan lembut. Hal ini dimungkinkan karena ubi jalar ungu yang digunakan berupa pasta sehingga relatif masih mengandung air yang dapat menjaga kondisi lembab dari adonan pada saat pemanggangan. Kandungan air yang tepat pada proses pembuatan roti akan menghasilkan tekstur roti yang kenyal dan lembut. Air mengikat gluten membentuk jaringan yang kenyal dan elastis dalam adonan. Perkembangan gluten yang maksimum adalah pada saat adonan mencapai kondisi kalis sehingga akan menghasilkan roti yang elastis dan lembut. Nuraisyah *et al.* (2018) menjelaskan bahwa tepung atau bahan substitusi pengganti terigu dengan daya ikat air yang baik akan menghasilkan adonan yang elastis, mudah mengembang, dan lembut.

Selain itu, tekstur dari roti tawar ini dipengaruhi kandungan pati dari pasta ubi jalar ungu. Pati mampu menyerap air lebih banyak selama pencampuran adonan sehingga kadar air adonan terjaga, roti tetap lembab setelah dipanggang, dan tekstur roti yang lembut. Iswara *et al.* (2019) memaparkan bahwa ubi jalar tidak memiliki gluten, namun memiliki sifat menarik air dan membengkak serta memiliki sifat terbentuknya gel yang konsisten pada saat pemanggangan sehingga roti dapat mengembang. Yuliansar *et al.* (2020) melaporkan kadar air dari ubi jalar ungu 70,46% relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan ubi jalar putih dan ubi jalar kuning. Begitu juga Julianti *et al.* (2024) menyebutkan bahwa ubi jalar ungu mengandung serat alami yang berupa oligosakarida dan dapat berpotensi sebagai pangan fungsional dan memengaruhi tekstur produk pangan. Hal ini juga didukung dari pernyataan Goldine & Budianta (2025) bahwa tekstur roti tawar dipengaruhi dari kadar air, kadar protein, dan kadar lemak dari bahan tersebut.

Gambar 2b. menunjukkan grafik hasil optimasi terhadap respon mutu hedonik struktur pori-pori roti dengan rentang skor mutu hedonik 3,55-4,45 (agak seragam-seragam). Peningkatan konsentrasi pasta ubi jalar ungu ternyata juga berkontribusi dalam membentuk struktur pori-pori roti tawar ubi jalar ungu. Model polinomial dari respon struktur pori-pori yang disarankan adalah linier. Hal ini menandakan tidak ada interaksi dari kedua faktor konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu terhadap struktur pori-pori roti tawar. Nilai *p*-values struktur pori-pori signifikan dengan nilai $p < 0,05$ (0,0017) dan *lack of fit* $p > 0,05$ (0,3226) menunjukkan tidak signifikan.

Menurut Rathnayake *et al.* (2018) bahwa pengembangan struktur remah berpori bergantung pada bahan adonan, kondisi pengolahan, aktivitas ragi, suhu fermentasi, dan pembentukan gelembung gas. Pada ubi jalar ungu mengandung pati sebesar 46,89% (Yuliansar *et al.*, 2020). Penambahan pasta ubi jalar ungu dapat berfungsi sebagai pengikat air dan gas. Selama fermentasi, pati menyerap air, membentuk elastisitas, dan memperkuat dinding adonan sehingga akan membantu memerangkap gas CO₂ hasil aktivitas ragi secara lebih merata, sehingga rongga udara (sel pori) tersebar lebih homogen.

Gambar 2c menunjukkan grafik hasil optimasi terhadap respon mutu hedonik rasa roti tawar ubi jalar ungu dengan rentang nilai 2,22-5,45 (tidak terasa pasta ubi jalar ungu-terasa pasta ubi jalar ungu). Model polinomial yang disarankan untuk respon tersebut adalah model *qubic*. Model

ini memperluas model kuadratik dengan memasukkan suku pangkat tiga (*kubik*) dan interaksi tingkat lebih tinggi sehingga model dapat menangkap pola nonlinear yang lebih rumit dan variasi perubahan di permukaan respon (Myers *et al.*, 2016). Nilai $p < 0,05$ (0,0169) signifikan dan *lack of fit* $p > 0,05$ (0,1595) menunjukkan tidak signifikan.

Seiring dengan peningkatan konsentrasi pasta ubi jalar ungu menyebabkan rasa roti tawar ini disukai oleh panelis dan rasa dominan ubi jalar ungu yang manis. Rasa dari roti tawar ini tidak hanya dipengaruhi oleh penambahan pasta ubi jalar ungu tetapi juga ada beberapa faktor lainnya, seperti proses fermentasi dan pemanggangan. Menurut Rathnayake *et al.* (2018) bahwa selama fermentasi, ragi memanfaatkan karbohidrat tanpa adanya oksigen (proses anaerob) untuk menghasilkan energi, alkohol (etanol), dan CO₂ sebagai produk akhir dengan melalui serangkaian tahapan serta melibatkan aktivitas enzim. Proses fermentasi yang berperan penting dalam pembentukan rasa pada roti.

Pada penelitian ini menunjukkan nilai validasi model dari respon daya kembang, warna, tekstur roti bagian dalam, struktur pori-pori, dan rasa yang cukup tinggi dan baik. Nilai R^2 0,8024-0,9741; *adjusted* R^2 0,7695-0,9638; *predicted* R^2 0,4871-0,9293; dan *adequate precision* 7,6423-20,3942. Koefisien R^2 menunjukkan seberapa besar variasi respon dijelaskan oleh model, *adjusted* R^2 menunjukkan kecocokan model terhadap jumlah data dan jumlah faktor sedangkan *predicted* R^2 untuk menilai kemampuan model dalam memprediksi data baru. Semakin tinggi nilai R^2 dan *adjusted* R^2 maka validasi model semakin baik. *Adequate precision* untuk mengukur rasio antara respon dan, jika nilai > 4 menandakan model layak digunakan (Apriliyanti *et al.*, 2020).

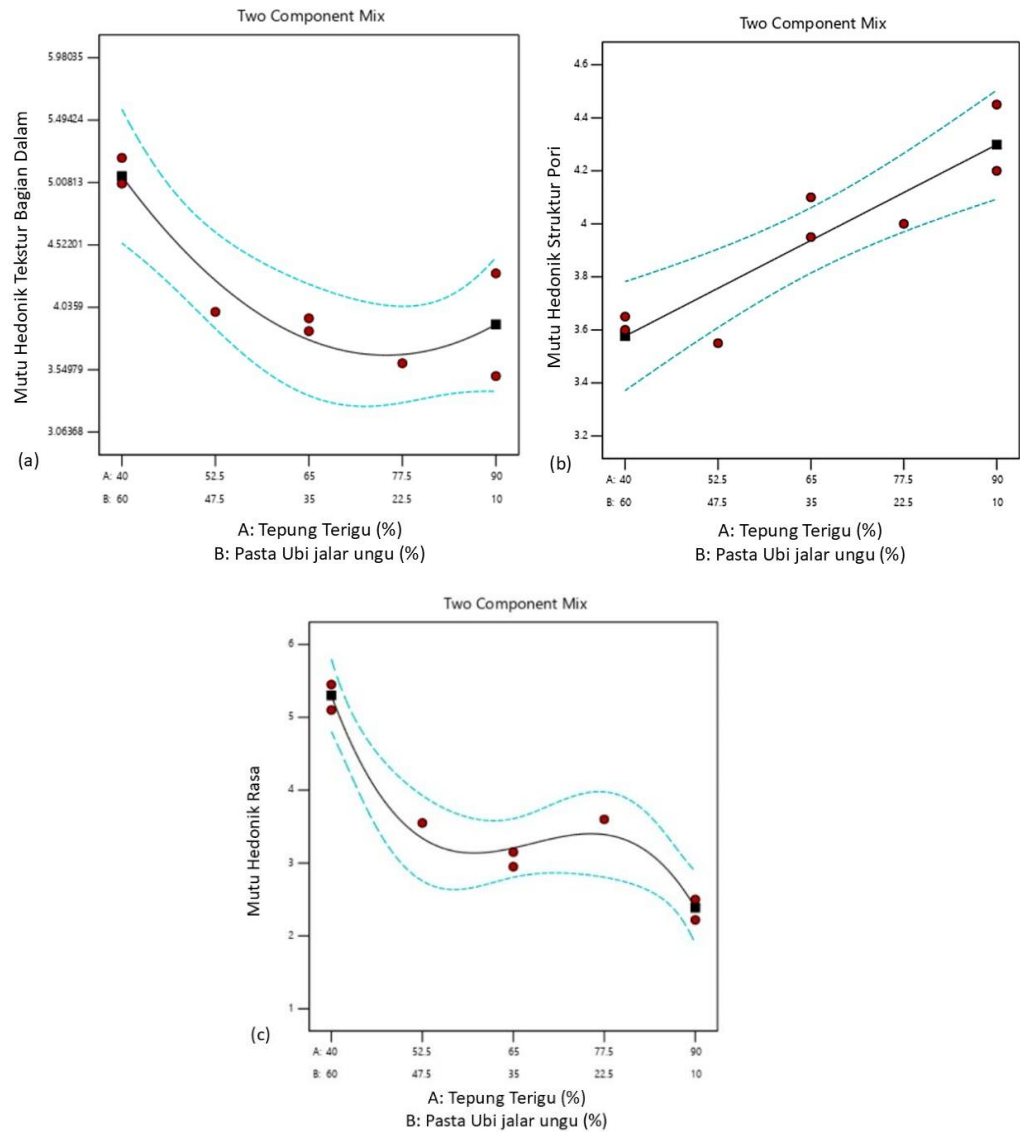
Titik optimum respon daya kembang, mutu hedonik warna, tekstur bagian dalam roti, struktur pori-pori, dan rasa

Kriteria penambahan faktor konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu adalah *in range* karena tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mendapatkan titik optimal dari kedua faktor tersebut. Respon mutu hedonik rasa dipilih kategori maksimal karena diharapkan memberikan nilai rasa yang maksimal dan disukai panelis dari roti tawar ini. Batas atas dan batas bawah dari masing-masing faktor dan respon diolah menggunakan software sehingga dapat menghasilkan solusi yang optimal.

Berdasarkan optimasi *software Design Expert*, diperoleh solusi formulasi optimum.

Formulasi dengan tepung terigu 40% dan pasta ubi jalar ungu 60% merupakan solusi terpilih dengan nilai *desirability* sebesar 0,954. Formulasi dapat dikatakan optimal apabila nilai keinginan (*desirability*) mendekati 1. Formulasi optimum

dengan nilai respon daya kembang 46,56%; mutu hedonik warna 5,30; tekstur roti bagian dalam/remah 5,06; struktur pori-pori 3,58; dan rasa 5,30 sehingga kemudian dilakukan verifikasi.



Gambar 2. Grafik hasil optimasi formulasi roti tawar dengan variasi konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu menggunakan metode mixture terhadap respon mutu hedonik tekstur bagian dalam roti (a), respon mutu hedonik struktur pori-pori (b), dan mutu hedonik rasa (c)

Tabel 5.
Hasil verifikasi optimasi formulasi roti dengan variasi konsentrasi tepung terigu dan pasta ubi jalar ungu

Respon	Rerata Prediksi	95% Cl low	95% Cl high	95% Pl low	95% Pl high	Rerata Aktual
Daya kembang	46,56	42,55	50,57	40,94	52,18	48,70
Mutu hedonik warna	5,30	4,70	5,90	4,51	6,09	5,05
Mutu hedonik tekstur	5,06	4,54	5,58	4,38	5,74	4,89
Mutu hedonik struktur pori	3,58	3,37	3,78	3,29	3,87	3,77
Mutu hedonik rasa	5,30	4,80	5,78	4,66	5,95	5,29

Hasil verifikasi

Proses verifikasi model optimasi bertujuan untuk membuktikan bahwa titik optimum yang diberikan oleh program *Design Expert* dapat memberikan respons yang mendekati nilai estimasi. Verifikasi dilakukan melalui perbandingan nilai respons pada penelitian dengan nilai respons hasil prediksi *software Design Expert*. Berdasarkan Tabel 5. hasil verifikasi diperoleh nilai rata-rata respon. Model yang dikembangkan masih akurat (*powerfull*) untuk memprediksi nilai optimum respons jika mempunyai selisih nilai masih kurang dari 5% (Apriliyanti, 2024).

Secara umum, formulasi terpilih dengan respon optimal yang diperoleh dari penelitian ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan produk pangan berbasis tanaman lokal ubi jalar ungu sehingga berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap tepung gandum impor. Selain itu, pemanfaatan ubi jalar ungu memberikan nilai tambah karena mengandung antosianin yang berpotensi sebagai antioksidan alami, sehingga dapat meningkatkan nilai fungsional produk pangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan model prediksi dari *Design Expert* ini menghasilkan formulasi optimum tepung terigu 40% dan pasta ubi jalar ungu 60% dengan nilai *desirability* berkisar 0,954. Pada formulasi tersebut diperoleh nilai respon terbaik: daya kembang 46,56%; mutu hedonik warna 5,30; tekstur roti bagian dalam/remah 5,06; struktur pori-pori 3,58; dan rasa 5,30. Hasil penelitian ini tidak hanya menentukan formulasi terpilih dengan respon yang optimal, tetapi juga memberikan rekomendasi terhadap upaya diversifikasi bahan baku pangan berbasis sumber daya lokal, khususnya ubi jalar ungu untuk dapat diterapkan di industri roti dan kue.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Politeknik Negeri Jember atas pendanaan yang diberikan melalui Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Skema Penelitian Penugasan Tematik dari sumber dana PNBP Tahun Anggaran 2023 dengan surat perjanjian Nomor: 7865/PL17/KP/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiluhung, W.D., & Sutrisno, A. (2018). Pengaruh konsentrasi glukomannan dan waktu proofing terhadap karakteristik tekstur dan organoleptik roti tawar beras (*Oryza sativa*) bebas gluten. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 6(4), 26–37. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2018.006.04.4>
- Apriliyanti, M.W., Suryanegara, M.A., Wahyono, A., & Djamila, S. (2020). Kondisi optimum perlakuan awal dan pengeringan kulit buah naga kering. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 31(2), 155–163. <https://doi.org/10.6066/jtip.2020.31.2.155>
- Apriliyanti, M.W., Suryaningsih, W., Kurnianto, M.F., & Saleh, A.S. (2024). Optimization of wheat flour and purple sweet potato paste for texture, specific volume, and bread color using the mixture design method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1338(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1338/1/012025>
- Arifin, H.R., Lembong, E., & Irawan, A.N. (2023). Karakteristik fisik roti tawar dari substitusi terigu dengan tepung komposit sukun (*Artocarpus atilis* f.) dan pisang (*Musa paradisiaca* L.) sebagai pemanfaatan komoditas lokal. *Jurnal Penelitian Pangan*, 3(1), 20–26. <https://doi.org/10.24198/jp2.2023.vol1.1.04>
- Badan Pusat Statistik. (2025). Impor biji gandum dan meslin menurut negara asal utama, 2017-2024. Publikasi Statistik Indonesia. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjAxNiMx/impor-biji-gandum-dan-meslin-menurut-negara-asal-utama--2017-2023.html> (diakses 31 Mei 2025)
- Farida, S., Kusumawardani, N.D., Hariyani, N., & Purwanti, G.A. (2022). Karakteristik kimia dan aktifitas antioksidan tepung ubi jalar ungu varietas Antin 2 dan varietas Antin 3. *Green House: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, 1(1), 7–18.
- Francavilla, A., & Joye, I. J. (2022). Anthocyanin content of crackers and bread made with purple and blue wheat varieties. *Molecules*, 27(21). <https://doi.org/10.3390/molecules27217180>
- Goldine, J.C., & Budianta, T.D.W. (2025). Peningkatan karakteristik roti tawar dengan penambahan pati termodifikasi. *Zigma*, 40(1), 197–218.

- Ibidapo, O.P., Henshaw, F.O., Shittu, T.A., & Afolabi, W.A. (2020). Quality evaluation of functional bread developed from wheat, malted millet (*Pennisetum glaucum*) and 'Okara' flour blends. *Scientific African*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00622>
- Iswara, J. A., Julianti, E., & Nurminah, M. (2019). Characterization texture of sweet bread from flour, starch, fiber and anthocyanin pigment of purple sweet potatoes. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 7(4), 12–21.
- Jia, F., Wang, H., Zhao, L., Qiao, Z., Wang, Y., Wang, R., Ma, J., Zhang, L., Liang, Y., & Wang, J.S. (2023). Effect of sweet potato flour on pasting, aggregation properties and dough quality of wheat flour. *LWT*, 188, 115440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115440>
- Jiang, G., Hou, X., Zeng, X., Zhang, C., Wu, H., Shen, G., Li, S., Luo, Q., Li, M., Liu, X., Chen, A., Wang, Z., & Zhang, Z. (2020). Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) anthocyanins for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 359–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.024>
- Julianti, E., Nurminah, M., & Nathania, B. (2025). Effect of purple sweet potato paste (*Ipomoea batatas* L.) addition on yoghurt quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1445(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1445/1/012014>
- Kurniasari, F.N., Rahmi, Y., Devina, C.I.P., Aisy, N.R., & Cempaka, A.R. (2021). Perbedaan kadar antosianin ubi ungu segar dan tepung ubi ungu varietas lokal dan antin 3 pada beberapa alat pengeringan. *Journal of Nutrition College*, 10(4), 313–320. <https://doi.org/10.14710/jnc.v10i4.32071>
- Lestaringtyas, R.D. (2017). Karakteristik Minuman Probiotik Tomat yang Difermentasi *Lactobacillus fermentum* dengan lama inkubasi berbeda. Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang. Skripsi.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C., & Anderson-Cook, C.M. (2016). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Nuraisyah, A., Raharja, S., & Udin, D.F. (2018). Karakteristik kimia roti tepung beras dengan tambahan enzim transglutaminase. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(3), 318–330. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2018.28.3.318>
- Oyinloye, O., Akande, N., Osinubi, O., Ajani, A., & Abdulkareem, A. (2022). Evaluation of bread made from wheat and composite flours of sweet potato. *International Journal of Sciences, Engineering & Environmental Technology (IJOSEET)*, 7(14), 128–136. www.repcomseet.org
- Puslitbang Tanaman Pangan. (2025). Potensi Ubi Jalar Ungu di Indonesia. <https://repository.pertanian.go.id/items> (diakses 13 November 2025).
- Rathnayake, H.A., Navaratne, S.B., & Navaratne, C.M. (2018). Porous crumb structure of leavened baked products. *International Journal of Food Science*, 2018. 8187318. <https://doi.org/10.1155/2018/8187318>
- Rizqi, A. H., & Darsono, A. (2024). Analisis trend impor gandum dan faktor yang memengaruhi impor gandum Indonesia. *Agrista*, 12(3), 14–24. <https://jurnal.uns.ac.id/agrista/article/view/94070>
- Rodríguez-Mena, A., Ochoa-Martínez, L.A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quñones, O. M., González-Laredo, R.F., Olmedilla-Alonso, B., & Vega-Maturino, S. (2023). Coloring potential of anthocyanins from purple sweet potato paste: Ultrasound-assisted extraction, enzymatic activity, color and its application in ice pops. *Food Chemistry Advances*, 3. 100358. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100358>
- Rohman, A.R., Dwiloka, B., & Rizqiati, H. (2019). Pengaruh lama fermentasi terhadap total asam, total bakteri asam laktat, total khamir dan mutu hedonik kefir air kelapa hijau (*Cocos nucifera*). *Jurnal Teknologi Pangan*, 3(1), 127–133. <https://doi.org/10.14710/jtp.2019.23281>
- Sagar, N.A., & Pareek, S. (2021). Fortification of multigrain flour with onion skin powder as a natural preservative: Effect on quality and shelf life of the bread. *Food Bioscience*, 41, 100992. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100992>
- Vidal, H.G., Araujo, L.F. de, & Barbosa Junior, J.L. (2022). Drying temperatures on the functional properties of purple-fleshed sweet potato. *Ciência Rural*, 52(6), 1–9.

<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201044>

Yuliansar, Ridwan, & Hermawati. (2020).

Karakterisasi pati ubi jalar putih, orange, dan ungu. *Saintis*, 1(2),1–13.

Copyright © The Author(s)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)