



Karakteristik Amilografi dan Sifat Pengembangan Tepung Singkong pada Optimasi Modifikasi Kombinasi Asam Laktat-Perlakuan Panas Lembap

[*Amylographic Characteristics and Baking Expansion Properties of Cassava Flour in the Optimization Process of Modification of Lactic Acid-Heat Moisture Treatment Combination*]

Yannie Asrie Widanti¹⁾, Agnes Murdiati²⁾, Yudi Pranoto^{3)*}, dan Dwi Larasatie Nur Fibri³⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

³⁾ Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Received September 7th 2023 / Revised October 31st 2024 / Accepted December 9th 2024

ABSTRACT

Although original properties of local flour have limited their uses in bread making, modification potentially enables them to become a viable option in the making of bakery products, aiming to substitute wheat flour. This study aimed to determine the optimum condition of lactic acid-HMT treatments for cassava flour. The amylographic characteristics of the flour and its effects on bread expansion were observed. A five-factor Box-Behnken design (lactic acid concentration, reaction time, HMT temperature, HMT time, and flour water content) was used, while the resulting data were analyzed using linear regression in Minitab software at a 5% significance level. The results showed that the treatment yielding modified cassava flour with high baking expansion was obtained at 0.5% lactic acid, 60 min reaction time, 30% flour water content, and temperature 140 °C for 1 h. Moreover, remarkable changes in pasting properties were observed after modification. The treatment increased peak, trough, and final viscosity but decreased breakdown viscosity. The morphology of modified flour differed from native one, with the former exhibiting more hollow granules and a flake-like structure.

Keywords: baking expansion, cassava flour, heat moisture treatment, lactic acid, modification

ABSTRAK

Tepung pangan lokal belum dimanfaatkan secara maksimal dalam produk bakeri karena terkendala karakteristiknya. Tepung singkong (*Manihot esculenta* Crantz) yang merupakan salah satu tepung pangan lokal yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan produk bakeri, masih terkendala oleh kemampuan pengembangan yang kurang baik. Sifat alami tepung lokal menyebabkan keterbatasan pada penggunaannya dalam pembuatan roti, modifikasi tepung berpotensi mengubah karakteristik tepung agar lebih sesuai untuk diaplikasikan dalam pembuatan produk roti, yang bertujuan untuk menggantikan tepung terigu. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum perlakuan asam laktat-HMT untuk tepung singkong. Karakteristik amilografi tepung dan pengaruhnya terhadap pengembangan roti telah diamati. Rancangan percobaan yang digunakan adalah desain Box-Behnken lima faktor (konsentrasi asam laktat, waktu reaksi, suhu HMT, waktu HMT, dan kadar air tepung) digunakan, sedangkan data yang dihasilkan dianalisis menggunakan regresi linier dalam perangkat lunak Minitab pada tingkat signifikansi 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan yang menghasilkan tepung singkong yang dimodifikasi dengan pengembangan pemanggangan tinggi diperoleh pada asam laktat 0,5%, waktu reaksi 60 menit, kadar air tepung 30%, dan suhu 140 °C selama 1 jam. Selain itu, telah diamati perubahan yang signifikan dalam sifat pasta setelah modifikasi yaitu meningkatnya peak viscosity, through viscosity, dan final viscosity, tetapi menurunkan break viscosity. Morfologi tepung yang dimodifikasi berbeda dari tepung asli, di mana tepung yang dimodifikasi menunjukkan butiran yang lebih berongga dan struktur seperti serpihan.

Kata kunci: asam laktat, baking expansion, heat moisture treatment, modifikasi, tepung singkong

*Penulis Korespondensi: E-mail: pranoto@ugm.ac.id

PENDAHULUAN

Konsumsi terigu di Indonesia yang semakin hari semakin meningkat merupakan salah satu penyebab semakin kuatnya ketergantungan bangsa kita terhadap impor gandum. Roti merupakan salah satu produk olahan terigu yang digemari dan sudah menjadi kebutuhan masyarakat Indonesia. Tepung singkong alami (tanpa modifikasi) sulit digunakan pada produk bakeri, khususnya roti tawar. Pada beberapa aplikasi tepung singkong alami pada produk bakeri, dihasilkan produk yang kurang disukai karena sifat sensorisnya yang kurang bagus, misalnya kurang mengembang, bertekstur kasar, menyebabkan peningkatan densitas dan kekerasan, sulit dikunyah, dan terkesan seret saat ditelan (Eriksson *et al.*, 2014; Obojiofor *et al.*, 2021a; Rauf dan Andini, 2019). Karakteristik produk roti tawar yang disukai konsumen ditentukan oleh berbagai atribut sensoris, seperti tingkat pengembangan, kelembapan/kadar air, warna permukaan (*crust*) maupun warna bagian dalam (*crumb*), aroma, tekstur lembut, kenyal, dan berpori (WahiduZaman *et al.*, 2013; Rosell, 2011). Tingkat pengembangan roti merupakan salah satu atribut penting yang menentukan tingkat penerimaan konsumen terhadap produk roti tawar. Oleh karena itu diperlukan tepung singkong modifikasi dengan sifat pengembangan (*baking expansion*) yang baik.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki karakteristik tepung singkong yaitu dengan cara modifikasi. Umumnya tepung singkong modifikasi yang digunakan pada produk roti belum mampu menggantikan terigu pada tingkat substitusi yang tinggi apa lagi sampai 100% (Dudu *et al.*, 2020; Obojiofor *et al.*, 2021). Metode modifikasi asam laktat telah diketahui dapat memperbaiki Karakteristik tepung singkong terutama meningkatkan sifat pengembangan, menurunkan viskositas, retrogradasi, dan meningkatkan stabilitas internal (dos Santos *et al.*, 2021; Yudianto *et al.*, 2020).

Perlakuan pengasaman saja belum cukup untuk meningkatkan *baking expansion*, sehingga memerlukan kombinasi perlakuan yang lain untuk memperkuat kemampuan pengembangan (dos Santos *et al.*, 2021). Oleh karena itu diperlukan kombinasi metode modifikasi lain untuk memperoleh karakteristik tepung singkong yang lebih sesuai untuk diaplikasikan pada produk roti tawar yang diharapkan mempunyai pengembangan dan sifat sensoris yang baik.

Perlakuan panas lembap atau dikenal dengan *heat moisture treatment* (HMT) diketahui menyebabkan terjadinya perubahan pada susunan struktural rantai pati di dalam area amorf dan kristalin granula, menghasilkan perubahan *swelling power*, kristalinitas, parameter-parameter penguraian amilosa, gelatinisasi, retrogradasi, stabilitas termal dan sifat pasta (Dudu *et al.*, 2019; Sobowale *et al.*, 2022). Perlakuan asam menyebabkan hidrolisis sebagian pada pati

dan bersama dengan perlakuan HMT akan menyebabkan terbentuknya pati resistan, sehingga akan menurunkan indeks glikemik tepung (Budiyanti *et al.*, 2023). Perlakuan kombinasi asam-HMT juga meningkatkan metastabilitas granula pati, serta menurunkan kristalinitas, *swelling power*, kelarutan, entalpi gelatinisasi, dan viskositas. Kombinasi perlakuan asam-HMT telah diketahui pula dapat meningkatkan sifat fungsional pati atau tepung (Sun *et al.*, 2015; Xing *et al.*, 2017).

Metode modifikasi kombinasi pengasaman menggunakan asam laktat dan HMT pada tepung singkong belum pernah dilakukan. Metode kombinasi tersebut dapat dieksplorasi lebih jauh lagi mengenai karakteristik tepung singkong modifikasi yang dihasilkan dan diharapkan memiliki karakteristik pengembangan yang baik.

Perbaikan karakteristik tepung singkong dapat dilakukan dengan metode modifikasi kombinasi pengasaman menggunakan asam laktat dan perlakuan *heat moisture treatment*. Metode kombinasi tersebut diharapkan dapat memperbaiki sifat fungsional tepung khususnya pada sifat pengembangan (*baking expansion*).

Pada umumnya penelitian yang telah dilakukan menerapkan metode modifikasi asam laktat atau HMT secara tunggal atau tidak dikombinasikan. Berbagai metode modifikasi juga lebih banyak dilakukan pada pati singkong, bukan tepung singkong. Modifikasi yang dikembangkan pada tepung singkong masih jarang dan biasanya masih menggunakan metode tunggal (Hung *et al.*, 2017). Selain itu tepung singkong modifikasi yang dihasilkan pada umumnya hanya bisa mensubstitusi terigu paling banyak 20% pada beberapa produk *bakeri* (Dudu *et al.*, 2020). Penelitian ini memodifikasi tepung singkong menggunakan metode kombinasi pengasaman dengan asam laktat dan perlakuan *heat moisture treatment* untuk memperoleh tepung singkong modifikasi dengan *baking expansion* yang tinggi.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah singkong (*Manihot esculenta* Crantz) jenis Jalaktowo yang diperoleh dari satu lahan petani di Ngargoyoso, Karanganyar, Jawa Tengah. Singkong yang dipilih yaitu singkong yang berusia 6 bulan dengan ciri-ciri umbi bagian dalam berwarna putih dan kulit cokelat, diameter umbi antara 3–5 cm panjang 50–80 cm. Bahan yang digunakan untuk proses modifikasi tepung singkong yaitu asam laktat *food grade* (Merk Sigma-Aldrich, Amerika Serikat), sedangkan bahan kimia pendukung untuk analisis antara lain akuades, etanol p.a, K₂S₂O₄, HgO, H₂SO₄ 100% (Merck, Jerman), NaOH 50%, HCl 0,1 N.

Metode penelitian

Rancangan percobaan yang digunakan adalah desain Box Behnken yang terdiri dari 5 *independent variable* (Dudu *et al.*, 2019; Franco *et al.*, 2010; Sumardiono *et al.*, 2018; Yudianto *et al.*, 2020), yaitu: konsentrasi asam laktat: 0,5% (-1); 1,75% (0); 3% (+1); lama reaksi: 10 (-1), 35 (0), 60(+1) menit; kadar

air tepung: 20% (-1), 25% (0), 30% (+1), suhu HMT: 70 (-1), 105 (0), 140 °C (+1); dan lama HMT: 1 (-1); 8,5 (0); 16 (+1) jam. Penentuan jumlah perlakuan menggunakan *design of experiment* (DOE) software Minitab sehingga dihasilkan 43 perlakuan (Tabel 1). Data yang diperoleh diolah menggunakan *response surface method* (RSM) pada software Minitab.

Tabel 1. Optimasi kondisi modifikasi kombinasi asam laktat HMT menggunakan desain Box Behnken

Table 1. Optimization of modified conditions lactic acid-HMT combination using Behnken Box design

Kode Sampel (Sample Code)	Konsentrasi Asam Laktat % (Lactic Acid Concentration (%))	Waktu Reaksi (menit) (Reaction Time (min))	Kadar Air Tepung (%) (Flour Moisture Content (%))	Suhu HMT (°C) (Temperature HMT (°C))	Lama HMT (jam) (Length of HMT (h))	Volume Pengembangan (mL/g) (Baking Expansion (mL/g))	Standar Deviasi (Standard Deviation)	Sig.
P1	0.5	10	25	105	8.5	1.52		
P2	3	10	25	105	8.5	1.51		
P3	0.5	60	25	105	8.5	1.52		
P4	3	60	25	105	8.5	1.52		
P5	1.75	35	20	70	8.5	1.65		
P6	1.75	35	30	70	8.5	1.49		
P7	1.75	35	20	140	8.5	1.55		
P8	1.75	35	30	140	8.5	1.53		
P9	1.75	10	25	105	1	1.53		
P10	1.75	60	25	105	1	1.53		
P11	1.75	10	25	105	16	1.52		
P12	1.75	60	25	105	16	1.55		
P13	0.5	35	20	105	8.5	1.51		
P14	3	35	20	105	8.5	1.55		
P15	0.5	35	30	105	8.5	1.54		
P16	3	35	30	105	8.5	1.55		
P17	1.75	35	25	70	1	1.51		
P18	1.75	35	25	140	1	1.54		
P19	1.75	35	25	70	16	1.53		
P20	1.75	35	25	140	16	1.53		
P21	1.75	10	20	105	8.5	1.52		
P22	1.75	60	20	105	8.5	1.53		
P23	1.75	10	30	105	8.5	1.56	0.295	0.00
P24	1.75	60	30	105	8.5	1.55		
P25	0.5	35	25	70	8.5	1.56		
P26	3	35	25	70	8.5	1.54		
P27	0.5	35	25	140	8.5	1.56		
P28	3	35	25	140	8.5	1.56		
P29	1.75	35	20	105	1	1.57		
P30	1.75	35	30	105	1	1.65		
P31	1.75	35	20	105	16	1.56		
P32	1.75	35	30	105	16	1.55		
P33	0.5	35	25	105	1	1.54		
P34	3	35	25	105	1	1.54		
P35	0.5	35	25	105	16	1.54		
P36	3	35	25	105	16	1.56		
P37	1.75	10	25	70	8.5	1.54		
P38	1.75	60	25	70	8.5	1.56		
P39	1.75	10	25	140	8.5	1.55		
P40	1.75	60	25	140	8.5	1.55		
P41	1.75	35	25	105	8.5	1.57		
P42	1.75	35	25	105	8.5	1.55		
P43	1.75	35	25	105	8.5	1.55		

Keterangan: Berdasarkan analisis statistik menggunakan uji T satu sampel diperoleh nilai sig. <0,05 yang berarti bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang nyata terhadap pengembangan adonan, HMT= heat moisture treatment

Note: Based on statistical analysis using the one-sample T-test, a significance value (sig.) <0.05 was obtained, indicating that the treatment has a significant effect on the dough development, HMT= heat moisture treatment

Prosedur modifikasi tepung metode kombinasi asam laktat-perlakuan panas lembap

Modifikasi tepung metode kombinasi asam laktat-perlakuan panas lembap mengacu pada Dudu *et al.* (2019) dan Franco *et al.* (2010). Tepung singkong 100 g didispersikan dalam larutan asam laktat pada konsentrasi sesuai perlakuan (0,5; 1,75; dan 3%). Selanjutnya diinkubasi di dalam *Shaking Waterbath* (Model SWB-30 Display, RRC) sesuai perlakuan selama 10, 35, atau 60 menit, kemudian disaring menggunakan penyaring vakum. Padatan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 90 °C sampai tercapai kadar air sesuai perlakuan (20, 25, atau 30%). Kemudian, padatan dihaluskan dan diayak, dikemas dalam aluminium *foil bag*. Perlakuan selanjutnya adalah penyimpanan sampel di dalam pendingin pada suhu 4 °C selama 48 jam. Tahap berikutnya adalah perlakuan panas lembap sesuai perlakuan (suhu 70, 105, dan 140 °C selama 1; 8,5; dan 16 jam). Setelah itu, tepung dikeluarkan dari *aluminium foil bag* dan dikeringkan menggunakan *cabinet dryer* pada suhu 60 °C sampai kadar air 10%. Tepung yang dihasilkan dihaluskan dan diayak, disimpan dalam *aluminium foil bag* sampai digunakan untuk analisis.

Penentuan rendemen

Nilai rendemen (R) dihitung berdasarkan perbandingan berat tepung sebelum dimodifikasi dengan berat tepung setelah dimodifikasi, dihitung dengan Persamaan 1 (Kardhinata *et al.*, 2019).

$$R = \left(\frac{\text{berat tepung setelah dimodifikasi}}{\text{berat tepung singkong sebelum dimodifikasi}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Penentuan *baking expansion*

Penentuan *baking expansion* dengan menimbang sebanyak 8 g tepung ditambah 13,3 mL akuades, lalu digelatinisasikan (Demiate *et al.*, 2000). Adonan lalu dioven pada suhu 200 °C selama 25 menit. Hasil panggang kemudian didinginkan, ditimbang. Volume hasil panggang ditentukan dengan memasukkan sampel ke dalam gelas ukur yang berisi biji *millet* (biji *millet* sebanyak 100 g, sebelumnya diukur volumenya), hingga seluruh bagian terendam dan peningkatan volume tercatat. Nilai *baking expansion* diketahui dengan menggunakan Persamaan 2.

$$\text{Baking Expansion} = \frac{\text{volume akhir}}{\text{massa hasil pemanggangan}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Volume akhir = (volume 100 g biji *millet* + adonan setelah dipanggang) - volume 100 g biji *millet*

Analisis morfologi tepung

Alat yang digunakan pada analisis *scanning electron microscope* (SEM) adalah SEM JEOL JSM-6510LA (JEOL Ltd., Jepang). Preparasi sampel diawali dengan proses pengeringan pada mesin vakum selama 30 menit, kemudian sampel ditempelkan pada *carbon tape* di atas *specimen holder* (Dudu *et al.*, 2019). Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam *auto coater*, kemudian ditunggu hingga mesin *vacuum coater* mencapai tekanan <5 Pa (disarankan ±3,2 Pa). *Start coater* selama 120 detik pada 20 mA. Sampel dimasukkan ke dalam SEM dan divakum ±1 menit, dipilih jenis *detector*, tegangan kerja dan *spot size* yang hendak digunakan, selanjutnya ditembakkan *electron beam* dengan *spot size* dan diamati permukaan sampel dari pembesaran kecil hingga besar.

Analisis *fourier transform infra-red* (FTIR)

Analisis FTIR spektrometer mengacu pada Demiate *et al.* (2000) yang bertujuan untuk menentukan gugus fungsi pada sampel. Pada pengujian ini digunakan FTIR Spektrometer Thermo Scientific (Nicolet iS10, Amerika Serikat). *Scanning FTIR* dimulai dengan menghubungkan kabel *power* pada sumber listrik, kemudian menghidupkan komputer dan mengaktifkan *desktop Omnic*. Dipilih *experiment set up* dan ditentukan pengaturan menu pada *acquisition parameter* meliputi bilangan gelombang: 4000-400 cm⁻¹; resolusi: 8; *scan*: 32; dan final format: *absorbance/transmittance*. Preparasi sampel meliputi penimbangan KBr 100 mg:1 mg sampel, digerus dan dibuat *pellet*. Selanjutnya, pengujian sampel diawali dengan pembacaan *background* terlebih dahulu (*background* udara) dengan klik *Col Bkg*, lalu pembacaan sampel dengan klik *Col Smp* lalu sampel dimasukkan ke dalam *sample holder*, ditunggu beberapa saat hingga *scanning* sampel selesai.

Analisis amilografi

Analisis amilograf mengacu pada Balet *et al.* (2019) menggunakan alat RVA (Perten type RVA 4500, Australia). Sebanyak 3 g sampel ditimbang dalam wadah RVA, lalu ditambahkan 25 g akuades. Pengukuran amilograf mencakup fase proses pemanasan dan pendinginan, diputar pada wadah sampel dengan kecepatan 160 rpm. Pada satu menit pertama dilakukan pemanasan awal sampai suhu mencapai 50 °C. Selanjutnya, suhu pemanasan dinaikkan hingga 95 °C. Sejak menit ke 8,5, suhu 95 °C dijaga konstan selama 5 menit. Suhu sampel kemudian diturunkan kembali ke 50 °C (pada menit ke 13) dan dipertahankan di 50 °C selama 2 menit (sampai menit ke 14).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen tepung modifikasi

Rendemen yang dimaksud adalah persentase hasil olahan yang diperoleh dari jumlah bahan baku yang digunakan (Tabel 2). Pada penelitian ini, rendemen dihitung berdasarkan berat tepung singkong akhir setelah dilakukan modifikasi kombinasi asam laktat-HMT dengan berat tepung singkong awal sebelum dimodifikasi. Rendemen terendah pada perlakuan konsentrasi asam laktat 1,75%, lama reaksi 35

menit, kadar air tepung 30%, suhu HMT 105 °C, dan lama HMT 16 jam, yaitu sebesar 68,53%. Rendemen tertinggi yaitu pada perlakuan konsentrasi asam laktat 1,75%, lama reaksi 10 menit, kadar air 25%, suhu HMT 70 °C, dan lama HMT 8,5 jam, yaitu sebesar 94,80%. Berdasarkan *output* ANOVA diperoleh nilai F hitung (637,36) > F tabel (3,96), yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan rendemen tepung modifikasi pada semua perlakuan. Asam laktat dapat memengaruhi struktur kimia bahan baku, termasuk pati dan protein.

Tabel 2. Rendemen tepung singkong modifikasi kombinasi asam laktat-perlakuan panas lembab

Table 2. Yield of modified cassava flour with lactic acid-HMT combination

Konsentrasi Asam Laktat (%) (Lactic Acid Concentration (%))	Waktu Reaksi (menit) (Reaction Time (min))	Kadar Air Tepung (%) (Flour Moisture Content (%))	Suhu HMT (°C) (Temperature HMT (°C))	Lama HMT (jam) (Length of HMT (h))	Kode (Code)	Rendemen (%) (Yield (%))	Standar Deviasi (Standard Deviation)	Sig.
0.5	10	25	105	8.5	P1	72.80	7.99	0.00
3	10	25	105	8.5	P2	89.53		
0.5	60	25	105	8.5	P3	71.33		
3	60	25	105	8.5	P4	84.80		
1.75	35	20	70	8.5	P5	79.87		
1.75	35	30	70	8.5	P6	78.93		
1.75	35	20	140	8.5	P7	75.13		
1.75	35	30	140	8.5	P8	79.47		
1.75	10	25	105	1	P9	78.20		
1.75	60	25	105	1	P10	68.67		
1.75	10	25	105	16	P11	71.53		
1.75	60	25	105	16	P12	70.00		
0.5	35	20	105	8.5	P13	69.60		
3	35	20	105	8.5	P14	87.60		
0.5	35	30	105	8.5	P15	70.47		
3	35	30	105	8.5	P16	80.87		
1.75	35	25	70	1	P17	78.20		
1.75	35	25	140	1	P18	88.27		
1.75	35	25	70	16	P19	89.07		
1.75	35	25	140	16	P20	83.20		
1.75	10	20	105	8.5	P21	72.00		
1.75	60	20	105	8.5	P22	75.20		
1.75	10	30	105	8.5	P23	73.60		
1.75	60	30	105	8.5	P24	75.00		
0.5	35	25	70	8.5	P25	73.20		
3	35	25	70	8.5	P26	92.40		
0.5	35	25	140	8.5	P27	70.53		
3	35	25	140	8.5	P28	82.47		
1.75	35	20	105	1	P29	70.47		
1.75	35	30	105	1	P30	72.40		
1.75	35	20	105	16	P31	86.27		
1.75	35	30	105	16	P32	68.53		
0.5	35	25	105	1	P33	68.80		
3	35	25	105	1	P34	86.93		
0.5	35	25	105	16	P35	72.33		
3	35	25	105	16	P36	84.40		
1.75	10	25	70	8.5	P37	94.80		
1.75	60	25	70	8.5	P38	91.20		
1.75	10	25	140	8.5	P39	89.93		
1.75	60	25	140	8.5	P40	82.53		
1.75	35	25	105	8.5	P41	84.53		
1.75	35	25	105	8.5	P42	90.93		
1.75	35	25	105	8.5	P43	89.73		

Beberapa kasus, perlakuan asam dapat menyebabkan hidrolisis atau denaturasi dari komponen tersebut, yang dapat mengurangi efisiensi ekstraksi dan menghasilkan rendemen yang lebih rendah. Proses asam dapat menyebabkan perubahan dalam struktur molekul pati yang memengaruhi jumlah pati yang dapat diekstrak dari bahan baku (Xing *et al.*, 2017). Perlakuan asam laktat dapat memengaruhi kadar air dalam tepung. Asam laktat dapat memodifikasi sifat higroskopis dari bahan baku, yang bisa menyebabkan perubahan pada rendemen tepung. Kadar air yang lebih rendah bisa menghasilkan tepung yang lebih kering, memengaruhi kualitas dan kuantitas tepung yang dihasilkan.

Hasil optimasi proses modifikasi kombinasi asam laktat-HMT berdasarkan karakteristik *baking expansion*

Penelitian ini telah dilakukan berdasarkan metode desain Box Behnken yang menghasilkan 43 perlakuan. Data yang diperoleh diolah menggunakan *software* Minitab dengan metode *response surface methods* (RSM). Berdasarkan hasil ANOVA seperti yang tampak pada Tabel 3, *p*-value model >0,05 yang berarti kombinasi perlakuan tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik *baking expansion* tepung singkong modifikasi yang dihasilkan. Namun pada percobaan ini faktor dan interaksi tidak berpengaruh secara signifikan.

Tabel 3. Hasil ANOVA optimasi proses untuk memperoleh *baking expansion* tinggi

Table 3. ANOVA results of process optimization to obtain high *baking expansion*

Source	DF	Adj. SS	Adj. MS	F-Value	P-Value
Model (Model)	20	0.013808	0.000690	0.67	0.814
Linear	5	0.000663	0.000133	0.13	0.984
Konsentrasi asam laktat (<i>Lactic acid concentration</i>)	1	0.000100	0.000100	0.10	0.758
Waktu reaksi (<i>Reaction time</i>)	1	0.000225	0.000225	0.22	0.645
Kadar air tepung (<i>Flour water content</i>)	1	0.000025	0.000025	0.02	0.878
Suhu HMT (<i>HMT temperature</i>)	1	0.000006	0.000006	0.01	0.939
Lama HMT (<i>Length of HMT</i>)	1	0.000306	0.000306	0.30	0.591
Square	5	0.005120	0.001024	0.99	0.444
Konsentrasi asam laktat*Konsentrasi asam laktat (<i>Lactic acid concentration*Lactic acid concentration</i>)	1	0.001174	0.001174	1.14	0.297
Waktu reaksi*Waktu reaksi (<i>Reaction time*Reaction time</i>)	1	0.002200	0.002200	2.14	0.158
Kadar air tepung*Kadar air tepung (<i>Flour moisture content*Flour moisture content</i>)	1	0.000267	0.000267	0.26	0.616
Suhu HMT*Suhu HMT (<i>HMT temperature*HMT temperature</i>)	1	0.000047	0.000047	0.05	0.833
Lama HMT*Lama HMT (<i>HMT period*HMT period</i>)	1	0.000047	0.000047	0.05	0.833
2-Way interaction	10	0.008025	0.000802	0.78	0.648
Konsentrasi asam laktat*Waktu reaksi (<i>Lactic acid concentration*Lactic acid concentration</i>)	1	0.000025	0.000025	0.02	0.878
Konsentrasi asam laktat*Kadar air tepung (<i>Lactic acid concentration*Flour moisture content</i>)	1	0.000225	0.000225	0.22	0.645
Konsentrasi asam laktat*Suhu HMT (<i>Lactic acid concentration*Flour moisture content</i>)	1	0.000100	0.000100	0.10	0.758
Konsentrasi asam laktat*Lama HMT (<i>Lactic acid concentration*HMT Period</i>)	1	0.000100	0.000100	0.10	0.758
Waktu reaksi*Kadar air tepung (<i>Reaction time* Flour moisture content</i>)	1	0.000100	0.000100	0.10	0.758
Waktu reaksi*Suhu HMT (<i>Reaction time*HMT period</i>)	1	0.000100	0.000100	0.10	0.758
Waktu reaksi*Lama HMT (<i>Reaction time*HMT period</i>)	1	0.000225	0.000225	0.22	0.645
Kadar air tepung*Suhu HMT (<i>Flour moisture content* HMT period</i>)	1	0.004900	0.004900	4.76	0.040
Kadar air tepung*Lama HMT (<i>Flour moisture content* HMT Period</i>)	1	0.002025	0.002025	1.97	0.175
Suhu HMT*Lama HMT (<i>HMT temperature* HMT period</i>)	1	0.000225	0.000225	0.22	0.645
Error	22	0.022667	0.001030		
Lack-of-Fit	20	0.022400	0.001120	8.40	0.112
Pure error	2	0.000267	0.000133		
Total	42	0.036474			

Keterangan: *= interaksi, DF= degrees of freedom, Adj. SS= adjusted sum of squares, Adj. MS= adjusted mean square

Note: *= interaction, DF= degrees of freedom, Adj. SS= adjusted sum of squares, Adj. MS= adjusted mean square

Berdasarkan hasil olah data pada Tabel 4 diketahui bahwa *p-value* model $>0,05$ yang berarti kombinasi perlakuan tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik *baking expansion* tepung singkong modifikasi yang dihasilkan. Interaksi faktor juga tidak ada yang berpengaruh signifikan terhadap *baking expansion*, hal ini diketahui dari nilai *p-value* $>0,05$. Nilai *p-value lack of fit* $>0,05$, berarti tidak signifikan. Hal ini, menunjukkan adanya kesesuaian data respons dengan model (Prabudi *et al.*, 2018).

Pada diagram *contour plot* dan *surface plot* interaksi lama HMT dengan konsentrasi asam laktat (Gambar 1A), nampak bahwa *baking expansion* yang tinggi terletak pada rentang konsentrasi asam laktat antara 1,0 sampai 2,5%. Berdasarkan interaksi lama HMT dan lama reaksi dengan asam laktat (Gambar 1B), *baking expansion* yang tinggi diperoleh pada rentang waktu perlakuan HMT selama 1 sampai 4 jam dan lama reaksi dengan asam laktat 10 sampai 45 menit.

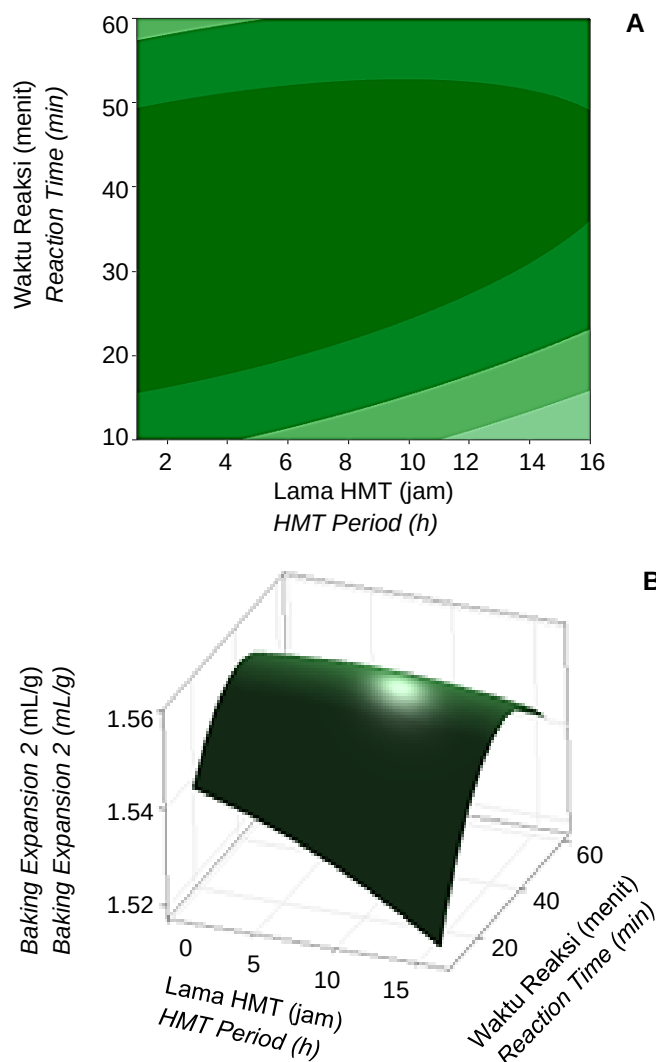
Berdasarkan respons *baking expansion* (Tabel 4), kondisi optimal modifikasi kombinasi asam laktat-HMT yang menghasilkan *baking expansion* tertinggi terdapat pada konsentrasi asam laktat 0,5%, lama reaksi 60 menit, kadar air tepung 30%, suhu dan lama HMT berturut-turut 140 °C selama 1 jam. Pada kondisi tersebut *baking expansion* tepung singkong termodifikasi diprediksi dapat mencapai 1,785 mL/g. Namun pada percobaan validasi menggunakan kondisi optimal, diperoleh *baking expansion* tepung singkong termodifikasi asam laktat-HMT sebesar $1,61 \pm 0,52$ mL/g nilai *baking expansion* tersebut lebih tinggi dari pada nilai *baking expansion* tepung singkong alami yaitu 1,02 mL/g dan tepung *mocaf* komersial sebesar 1,11 mL/g.

Menurut Anindya dan Haryadi (2014), peningkatan volume pengembangan granula pati pada saat pemanggangan berkaitan dengan keberadaan asam laktat yang merenggangkan ikatan antar molekul, sehingga air akan mudah masuk ke dalam molekul pati. Tetapi, keberadaan asam laktat secara berlebihan akan menyebabkan ikatan-ikatan antar molekul dalam granula pati akan terlalu renggang, sehingga mengalami penurunan kemampuan memerangkap air yang masuk dan mengakibatkan penurunan volume pengembangan pada saat pemanggangan. Konsentrasi asam laktat dan lama reaksi secara signifikan dapat memengaruhi sifat tepung yang dimodifikasi. Konsentrasi asam laktat yang lebih tinggi dan waktu reaksi yang lebih lama dapat menyebabkan peningkatan hidrolisis dan gangguan pada butiran pati, yang mengakibatkan perubahan pada karakteristik perekatan dan tekstur tepung (Luallen, 2018). Menurut Yudanto *et al.* (2020), pati yang terdegradasi akibat asam laktat dan sinar UV selama 10 menit mengalami hidrolisis. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi asam laktat maka nilai potensial hidrogen akan semakin kecil. Hal ini sejalan dengan penelitian Zambelli *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa asam laktat dapat mengubah hubungan antara amilosa dan amilopektin dan masing-masing komponen dengan dirinya sendiri dalam butiran pati, sehingga mencegah pembengkakan butiran pati. Menurut Dudu *et al.* (2019), perlakuan HMT menyebabkan ikatan amilosa-amilopektin menjadi lemah dan meningkatkan interaksi amilosa-air. Disebutkan pula bahwa perlakuan HMT juga menyebabkan peningkatan elastisitas tepung singkong.

Tabel 4. Respons optimasi: *Baking expansion*

Table 4. Response optimization: *Baking expansion*

Parameters	1. Response 2. Goal 3. Lower 4. Target 5. Upper weight 6. Importance	<i>Baking expansion</i> Maksimum (Maximum) 0.496167 g/mL 1.2275 g/mL 1 1
Solution	1. Konsentrasi asam laktat (Lactic acid concentration) 2. Waktu reaksi (Reaction time) 3. Kadar air tepung (Flour water content) 4. Suhu HMT (HMT temperature) 5. Lama HMT (HMT period) 6. Kesesuaian volume pengembangan (<i>Baking expansion fit</i>) 7. Composite desirability	0.5% 60 menit (min) 30% 140 °C 1 jam (h) 1.78533 g/mL 1
Multiple response prediction	Variable	Setting
	1. Konsentrasi asam laktat (Lactic acid concentration) 2. Waktu reaksi (Reaction time) 3. Kadar air tepung (Flour water content) 4. Suhu HMT (HMT temperature) 5. Lama HMT (HMT period)	0.5% 60 menit (min) 30% 140 °C 1 jam (h)



Gambar 1. Contour plot of baking expansion (A) dan surface plot of baking expansion (B) dengan lama HMT dan waktu reaksi dengan asam laktat

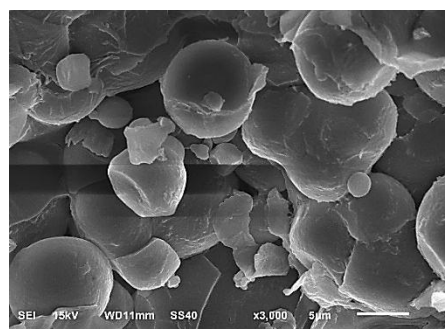
Figure 1. Contour plot of baking expansion (A) and surface plot of baking expansion (B) with HMT time and reaction time with lactic acid

Morfologi tepung singkong modifikasi

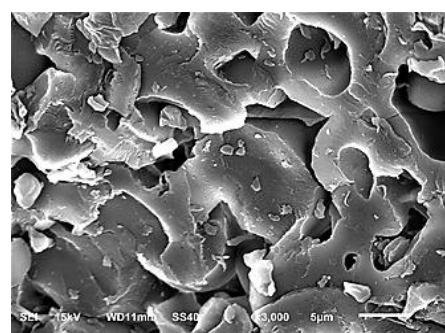
Morfologi tepung singkong alami dan tepung singkong modifikasi asam laktat-HMT pada kondisi optimal dapat dilihat pada Gambar 2. Granula pada tepung singkong alami tampak berbentuk bulat, padat dengan permukaan yang halus dan rata.

Pada tepung singkong modifikasi asam laktat-HMT granula tampak berongga besar, tidak padat, dan banyak terdapat serpihan. Menurut Van Hung *et al.* (2017), asam laktat mempunyai efek yang sangat besar terhadap perubahan morfologi granula pati, yaitu menyebabkan terpecahnya granula. Perubahan morfologi granula tepung singkong ini diduga berpengaruh terhadap *baking expansion* yang

A dihasilkan. Struktur yang berongga memungkinkan interaksi pada permukaan yang lebih luas dengan air pada saat pembentukan adonan, sehingga dapat lebih mengembang pada saat pemanggangan.



A



B

Gambar 2. Morfologi tepung singkong alami (A) dan tepung singkong modifikasi asam laktat-HMT pada kondisi optimal (B)

Figure 2. Morphology of natural cassava flour (A) and lactic acid-HMT modified cassava flour under optimal conditions (B)

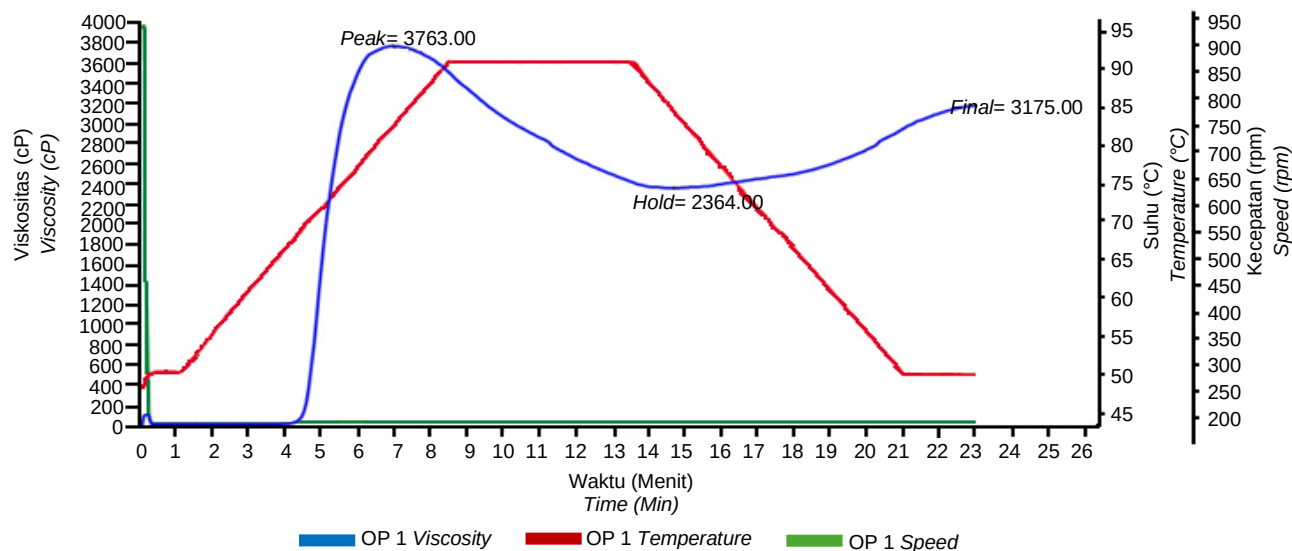
Karakteristik amilograf tepung singkong modifikasi asam laktat-HMT

Pengamatan karakteristik amilograf berguna untuk menentukan kualitas tepung berdasarkan kemampuannya dalam menyerap air, membentuk gel, dan sifat viskositasnya. Ini sangat penting untuk aplikasi dalam industri makanan. Viskositas pasta merupakan karakteristik penting tepung selama pemanasan suspensi tepung dan air. Karakteristik ini menjadi dasar aplikasi makanan, juga sebagai identifikasi varietas sumber tepung. Berdasarkan karakteristik sifat *pasting* pada Tabel 5 diketahui bahwa modifikasi kombinasi asam laktat-HMT menyebabkan penurunan *peak*, *breakdown*, dan *setback*, tetapi meningkatkan *trough*, *final viscosity*, *peak time*, dan *pasting temperature*.

Perubahan *pasting properties* tepung singkong modifikasi dibandingkan tepung singkong alami disebabkan oleh efek perlakuan asam laktat dan HMT (Gambar 5 dan 6). Menurut Kartikasari *et al.* (2016), hidrolisis pati oleh asam dapat mengubah mikrostruktur pati dan menimbulkan perubahan karakteristik amilografi dan viskositas.

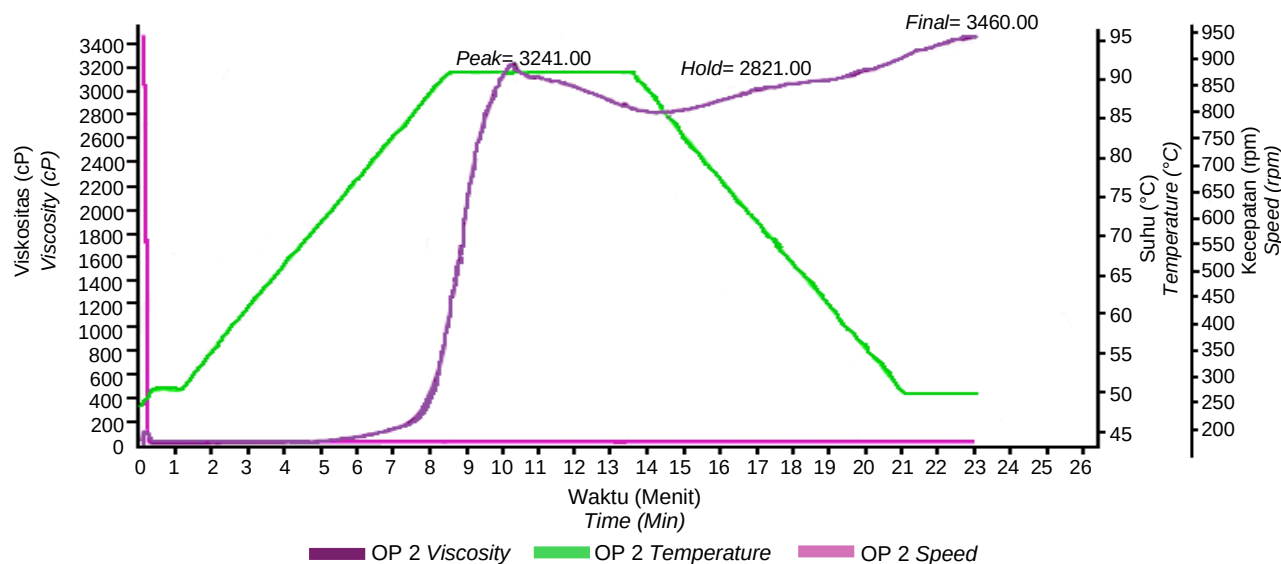
Tabel 5. Karakteristik amilografi tepung singkong alami dan tepung singkong modifikasi asam laktat-HMT
 Table 5. Amylograph characteristics of native cassava flour and lactic acid-HMT modified cassava flour

Jenis Tepung (Type of Flour)	Peak	Trough	Breakdown	Final Viscosity	Setback	Peak Time	Pasting Temperature
Tepung singkong alami (Native cassava flour)	3763	2364	1399	3175	811	6.93	68.45
Tepung singkong modifikasi asam laktat-HMT (Lactic acid modified cassava flour)	3301	2738	563	3426	688	10.13	85.20



Keterangan: OP1= kode sampel pada percobaan optimasi untuk tepung singkong alami (tanpa modifikasi)
 Note: OP1= sample codes in the optimization experiment for natural cassava flour (without modification)

Gambar 5. Profil amilograf tepung singkong alami
 Figure 5. Amylograph profile of native cassava flour



Keterangan: OP2= kode sampel pada percobaan optimasi untuk tepung singkong modifikasi pada kondisi optimal yang menghasilkan pengembangan (*baking expansion*) maksimum
 Note: OP2= sample codes in the optimization experiment for modified cassava flour under optimal conditions yielding maximum baking expansion

Gambar 6. Profil amilograf tepung singkong termodifikasi asam laktat-HMT pada kondisi optimum
 Figure 6. Amylograph profile of cassava flour modified with lactic acid-HMT at optimum conditions

HMT menyebabkan perubahan sifat fisiko-kimia pati secara signifikan. HMT mengubah karakteristik termal pati, meningkatkan suhu gelatinisasi, dan mengubah kisaran suhu gelatinisasi. Hasil penelitian ini sejalan dengan Van Hung *et al.* (2017), yaitu perlakuan kombinasi asam-HMT menyebabkan peningkatan *peak*, *trough*, dan *final viscosity*, tetapi menurunkan *breakdown viscosity*. Perubahan tersebut diduga akibat adanya interaksi antara rantai polimer di daerah amorf dan kristalin oleh perlakuan HMT yang menyebabkan granula pati lebih stabil sehingga memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk terjadinya disintegrasi struktural dan pembentukan pasta. Menurut Van Hung *et al.* (2017), perlakuan HMT menyebabkan perubahan struktur kristalin tipe B menjadi tipe C, sedangkan kristalin tipe A tidak mengalami perubahan. Pati singkong yang diberi perlakuan asam-HMT mempunyai struktur kristalin tipe A. Hal inilah yang kemungkinan mengakibatkan terjadinya peningkatan *final viscosity* dan penurunan *breakdown viscosity*. Perubahan *peak viscosity* lebih dipengaruhi oleh penguraian amilosa dan tereduksinya ukuran granula tepung.

KESIMPULAN

Kondisi optimal modifikasi kombinasi asam laktat-HMT untuk memperoleh tepung singkong modifikasi dengan karakteristik *baking expansion* yang tinggi yaitu pada konsentrasi asam laktat 0,5%, lama reaksi 60 menit, kadar air tepung 30%, suhu, dan lama HMT berturut-turut 140 °C selama 1 jam. *Baking expansion* tepung singkong yang dihasilkan pada kondisi optimal mencapai $1,61 \pm 0,52$ mL/g, lebih tinggi dari pada tepung singkong alami (1,02 mL/g) maupun tepung mocaf komersial (1,11 mL/g). Perlakuan asam laktat-HMT menyebabkan terjadinya perubahan morfologi granula pati menjadi lebih berongga dan mengubah *pasting properties*. Karakteristik pasta tepung singkong modifikasi asam laktat-HMT memiliki *trough viscosity* dan *final viscosity* yang lebih tinggi dari pada tepung singkong alami, tetapi *peak viscosity* dan *breakdown viscosity* yang lebih rendah dengan *peak time* dan *pasting temperature* yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui program hibah Disertasi Doktor (Ketua Prof. Dr. Yudi Pranoto, STP, MP) dengan nomor kontrak 122/E5/PG.02.00.PL/2023;3122/UN1/DITLIT/Dit-Lit/PT.01.03/2023. Terima kasih juga kepada tim

promotor yang telah membimbing, memberikan saran, koreksi, dan motivasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambigaipalan, P., Hoover, R., Donner, E., & Liu, Q. (2014). Starch chain interactions within the amorphous and crystalline domains of pulse starches during heat-moisture treatment at different temperatures and their impact on physicochemical properties. *Food Chemistry*, 143, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.112>
- Anindya, A. S., & Haryadi. (2014). Oksidasi hancuran singkong menggunakan H₂O₂ dan asam laktat dengan katalisator ferrous sulfate heptahydrate untuk meningkatkan baking expansion. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 3(4), 128–134.
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid visco analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physiochemical properties in cereals: a Review. *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344–2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Budiyanti, R. R., Faridah, D. N., Wulandari, N., Jayanegara, A., & Afandi, F. A. (2023). Effect of combining acid modification and heat-moisture treatment (HMT) on resistant starch content: A systematic review. *AIMS Agriculture and Food*, 8(2), 479–495. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2023025>
- Demiate, I. M., Dupuy, N., Huvenne, J. P., Cereda, M. P., & Wosiacki, G. (2000). Relationship between baking behavior of modified cassava starches and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 42(2), 149–158. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(99\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(99)00152-6)
- dos Santos, T. P. R., Leonel, M., Mischán, M. M., & Cabello, C. (2021). Study and application of photo-modified cassava starch with lactic acid and UV-C irradiation. *LWT*, 139(March 2021), 110504. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110504>
- Dudu, O. E., Li, L., Oyedele, A. B., Oyeyinka, S. A., & Ma, Y. (2019). Structural and functional characteristics of optimised dry-heat-moisture treated cassava flour and starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 1219–1227. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.202>
- Dudu, O. E., Ma, Y., Adelekan, A., Oyedele, A. B., Oyeyinka, S. A., & Ogungbemi, J. W. (2020). Bread-making potential of heat-moisture treated

- cassava flour-additive complexes. *LWT*, 130(June), 109477. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109477>
- Eriksson, E., Koch, K., Tortoe, C., Akonor, T. P., & Oduro-Yeboah, C. (2014). Evaluation of the physical and sensory characteristics of bread produced from three varieties of cassava and wheat composite flours. *Food and Public Health*, 4(5), 214–222. <https://doi.org/10.5923/j.fph.20140405.02>
- Franco, C. M., Ogawa, C., Rabachini, T., de Souza Rocha, T., Cereda, M. P., & Jane, J.-lin. (2010). Effect of lactic acid and UV irradiation on the cassava and corn starches. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(2), 443–454. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000200025>
- Kardhinata, E. H., Purba, E., Suryanto, D., & Rusmarilin, H. (2019). Modified cassava flour (MOCAF) content of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) in North Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 260(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012088>
- Kartikasari, S. N., Sari, P., & Subagio, A. (2016). Karakterisasi sifat kimia, profil amilografi (RVA) dan morfologi granula (SEM) pati singkong termodifikasi secara biologi. *Jurnal Agroteknologi*, 10(01), 12–24. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v10i01.4472>
- Obojiofor, E. F., Okechukwu, J. O., Victor, E. I., & Anikwenze, R. (2021a). Production, physicochemical and organoleptic evaluation of bread made from composite wheat-cassava flour. *Advances in Science and Technology*, 107, 29–36. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.107.29>
- Obojiofor, E. F., Okechukwu, J. O., Victor, E. I., & Anikwenze, R. (2021b). Production, physicochemical and organoleptic evaluation of bread made from composite wheat-cassava flour. *Engineering Innovation for Addressing Societal Challenges*, 107, 29–36. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.107.29>
- Owuamanam, C., Ogueke, C., Ihediohanma, N., Omeire, G., & Omeni, C. (2015). Blending of acetylated cassava starch, cassava flour and wheat flour for composite in bread making. *British Journal of Applied Science & Technology*, 10(6), 1–9. <https://doi.org/10.9734/bjast/2015/14309>
- Prabudi, M., Nurtama, B., Purnomo, H. (2018). Aplikasi response surface methodology (RSM) dengan historical data pada optimasi proses produksi burger. *Jurnal Mutu Pangan : Indonesian Journal of Food Quality*, 5(2), 109–115.
- Rauf, R., & Andini, K. T. (2019). Sifat fisik dan penerimaan roti tawar dari tepung komposit terigu dan singkong dengan variasi lama pencampuran adonan. *AgriTECH*, 39(2), 169–178. <https://doi.org/10.22146/agritech.41515>
- Rosell, C. M. (2011). The Science of Doughs and Bread Quality. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*, 3–14. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7>
- Sobowale, S. S., Olatidoye, O. P., Atinuke, I., & Emeka, O. C. (2022). Effect of heat-moisture treatment on the functional and rheological characteristics of cassava (*Manihot esculenta*) starch. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 77(1), 89–99. <https://doi.org/10.1080/0035919X.2022.2036265>
- Sumardiono, S., Jos, B., Firmansyah, D., Hidayatunajah, R., & Pudjihastuti, I. (2018). Modification of cassava starch using lactic acid hydrolysis in the rotary-UV dryer to improve physicochemical properties. *MATEC Web of Conferences*, 156, 1–8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815601018>
- Sun, Q., Zhu, X., Si, F., & Xiong, L. (2015). Effect of acid hydrolysis combined with heat moisture treatment on structure and physicochemical properties of corn starch. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 375–382. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0998-7>
- Van Hung, P., Huong, N. T. M., Phi, N. T. L., & Tien, N. N. T. (2017). Physicochemical characteristics and in vitro digestibility of potato and cassava starches under organic acid and heat-moisture treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.074>
- WahiduZzaman, F. R., Wan Abdullah, W. N., & Yang, T. A. (2013). Physical and sensory analysis of high fiber bread incorporated with jackfruit rind flour. *Food Science and Technology*, 1(2), 30–36. <https://doi.org/10.13189/fst.2013.010203>

- Xing, J.-jie, Liu, Y., Li, D., Wang, L.-jun, & Adhikari, B. (2017). Heat-moisture treatment and acid hydrolysis of corn starch in different sequences. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.055>
- Yudanto, Y. A., Alvina, R. W., & Pudjihastuti, I. (2020). The effect of lactic acid hydrolysis in the making of modified maizena flour. *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, 2(2), 16–19. <https://doi.org/10.14710/jvsar.v2i2.8107>
- Zambelli, R. A., Galvão, A. M. M. T., De Mendonça, L. G., De Souza Leão, M. V., Carneiro, S. V., Lima, A. C. S., & Melo, C. A. L. (2018). Effect of different levels of acetic, citric and lactic acid in the cassava starch modification on physical, rheological, thermal and microstructural properties. *Food Science and Technology Research*, 24(4), 747–754. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.747>