PENGGUNAAN VARIASI BERAS SEBAGAI BAHAN PENYUSUN ROTI BEBAS GLUTEN

USE OF RICE VARIETY AS AN INGREDIENT IN GLUTEN-FREE BREAD

Keiko Zefanya Juanda[1], Anita Maya Sutedja[2]
Mahasiswa Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
foodtech.keiko.z.21@ukwms.ac.id

Abstrak

Celiac disease merupakan penyakit autoimun sistemik yang menyebabkan penderitanya mengalami intoleransi seumur hidup terhadap gluten. Orang yang mengidap penyakit celiac telah meningkat sejak paruh kedua abad ke-20 hingga abad ke-21. Roti diterima secara universal sebagai bentuk makanan yang sangat mudah didapat, namun keberadaan gluten membuat orang dengan celiac disease tidak dapat mengkonsumsi roti dari terigu sehingga digunakan tepung beras untuk menciptakan roti bebas gluten. Terdapat beberapa variasi beras yang dapat diolah menjadi tepung, namun karena rendahnya kualitas roti bebas gluten yang terbentuk, maka dipilih empat varian beras sebagai bahan penyusun roti bebas gluten karena dapat menghasilkan kualitas yang cukup baik. Dalam pengolahan berbagai varian beras menjadi tepung beras putih, merah, coklat dan hitam tidak terdapat perbedaan yang jauh. Adonan roti bebas gluten dari varian tepung beras memiliki sedikit perbedaan dibandingkan roti dengan gluten, adonan roti bebas gluten akan memiliki konsistensi seperti batter, perbedaan suhu pemanggangan roti bebas gluten dari berbagai variasi beras akibat kandungan serat yang terkandung. Perbedaan kandungan nutrisi pada tepung beras akan berpengaruh terhadap fisiko-kimia roti bebas gluten yang dihasilkan.

Kata Kunci: Celiac Disease, Roti Bebas Gluten, Tepung Beras, Sifat Fisiko-kimia

Abstract

Celiac disease is a systemic autoimmune disease that causes sufferers to experience lifelong intolerance to gluten. People suffering from celiac disease have been increasing since the second half of the 20th century into the 21st century. Bread is universally accepted as a very accessible form of food, but the presence of gluten means that people with celiac disease cannot consume wheat bread, so rice flour is used to create gluten-free bread. There are several variations of rice that can be processed into flour, but due to the low quality of the gluten-free bread that is formed, four variants of rice were chosen as ingredients for gluten-free bread because they can produce quite good quality. In processing various variants of rice into white, red, brown and black rice flour, there is not much difference. Gluten-free bread dough from rice flour variants has a slight difference compared to bread with gluten, gluten-free bread dough will have a batter-like consistency, the difference in baking temperature for gluten-free bread from various rice varieties is due to the fiber content contained. Differences in nutritional content in rice flour will affect the physico-chemistry of the gluten-free bread produced.

Keywords: Celiac Disease, Gluten-Free Bread, Rice Flour, Physical and Chemical Properties

PENDAHULUAN

Celiac disease merupakan penyakit autoimun sistemik yang menyebabkan penderitanya mengalami intoleransi seumur hidup terhadap gluten (Cole et al., 2022). Sistem kekebalan tubuh penderita bereaksi tidak normal terhadap komponen protein yang terkandung di dalam gluten, yaitu gliadin. Penderita mengalami dimediasi secara imunologis ketika gliadin masuk ke dalam tubuhnya sehingga terjadi inflamasi pada mukosa usus halus (Chreitah et al., 2022). Orang yang mengidap penyakit celiac telah meningkat sejak paruh kedua abad ke- 20 hingga abad ke-21 di hampir setiap negara

yang memiliki data mengenai penyakit tersebut (*Celiac Disease Foundation*, 2020). Orang dengan penyakit celiac lebih rentan terhadap alergi, hal ini dikarenakan individu dengan CD menghasilkan antibodi spesifik. Berbeda dengan yang abnormal respon imun pada penyakit autoimun dimana sistem imun menyerang dirinya sendiri, alergi berlebihan oleh respon imun terhadap protein eksternal yang menyebabkan peradangan alergi. Penyakit alergi yang diperantarai imunoglobulin (Ig) antara lain alergi makanan, alergi rinitis dan asma. Reaksi alergi mungkin terjadi terjadi pada individu yang IgE peka terhadap alergen, terutama protein (Kårhus et al., 2019). Hingga saat ini, satu-satunya pencegahan untuk penyakit ini adalah penghindaran gluten yang ada dalam makanan, minuman, dan obat-obatan.

Makanan dengan kandungan gluten salah satunya adalah roti. Roti diterima secara universal sebagai bentuk makanan yang sangat mudah didapat karena banyaknya toko roti yang tersebar. Harga terjangkau, dan rasanya yang enak membuat konsumsi roti semakin naik tiap tahunnya. Roti sering dikonsumsi sebagai makanan pokok selain itu, roti merupakan sumber zat gizi yang baik, seperti zat gizi makro (karbohidrat, protein, dan lemak) dan zat gizi mikro (mineral, lemak dan vitamin) yang penting untuk kesehatan manusia (Malomo et al., 2012).

Pada umumnya tepung yang digunakan untuk membuat roti adalah terigu, namun dengan semakin meningkatnya orang yang mengidap penyakit celiac dan juga trend diet bebas gluten untuk menurunkan berat badan dan atlet untuk meningkatkan kinerja (Lis et al., 2015). Antara tahun 2004 dan 2011, pasar produk bebas gluten tumbuh pada tingkat tahunan sebesar 28% (Gaesser & Angadi, 2012), dengan perkiraan penjualan sebesar $2,6 miliar pada tahun 2012 (Gaesser & Angadi, 2015) yang diperkirakan akan mencapai $6,6 miliar pada tahun 2017 membuat produsen roti harus memilih bahan baku selain terigu untuk membuat roti bebas gluten. Bahan utama adonan roti bebas gluten adalah tepung bebas gluten, misalnya seperti tepung jagung (Hera et al., 2013; Ekpa et al., 2020;), kedelai (Azizi et al., 2020; Skendi et al., 2021), *mesquite* (Korus et al., 2020; Gonzales- Barron et al., 2020), hazelnut (Pycia et al., 2022; Tuna et al., 2023) atau soba (Coronel et al., 2021; Różańska et al., 2021), dan berbagai macam pati asal tumbuhan serta tepung beras (Šmídová & Rysová, 2022). Beras merupakan sumber karbohidrat, terdiri atas dua polimer yakni amilosa dan amilopektin (Heberle et al., 2022). Beras juga mengandung protein, lemak, dan vitamin B kompleks seperti tiaminm riboflavin dan niasin (Verma & Srivastav, 2020). Hal inilah yang membuat beras dinilai sebagai salah satu komoditas pangan pokok bernilai gizi penting layaknya sereal (Verma & Srivastav, 2020). Beras (*Oryza Sativa* L.) menjadi komoditas pangan yang telah dikonsumsi lebih dari 50% penduduk di dunia sebagai sumber kebutuhan kalori (Zhang et al., 2022). Pada tahun 2021/2022, produksi global beras adalah sekitar 520 juta ton beras (Muhammed, 2023). Jumlah produksi yang melimpah inilah membuat beras tidak hanya dapat dikonsumsi dalam bentuk nasi, tetapi juga diolah menjadi tepung beras.

VARIASI JENIS BERAS DAN PENGOLAHANNYA YANG DAPAT DIGUNAKAN SEBAGAI BAHAN BAKU ROTI BEBAS GLUTEN

Tepung beras adalah salah satu jenis tepung sereal yang paling tepat untuk menyiapkan produk bebas gluten karena beberapa sifat penting seperti sifatnya yang alami, protein hipoalergenik, kandungan natrium dan lemak yang rendah, serta karbohidrat yang mudah dicerna dalam

Tabel 1. Kadar Nutrisi Berbagai Jenis Beras

Jenis Beras	Parameter (%)					Referensi
	Air	Abu	Protein	Lemak	Amilosa	
Beras Putih	11,20	0,98	6,85	1,13	N/A	Puri et al., 2019
	N/A	0,18	6,22	0,24	N/A	Puncha-Arnon & Uttapap, 2013
	N/A	N/A	8,5	N/A	18,30	Masniawati et al., 2018
Beras Merah	11,90	1,37	9,72	2,35	24,73	Sompong et al., 2011
	8,65	2,38	11.23	5,81	N/A	Agustin et al., 2021
Beras Coklat	5,00	2,21	6,35	1,08	19,56	Oppong et al., 2021
	9,34	2,53	12,13	5,11	N/A	Rashid & Ibrahim, 2014
Beras Hitam	12,59	1,42	8,17	3,72	8,90	Sompong et al., 2011
	9,52	2,66	10,14	4,78	N/A	Agustin et al., 2021

jumlah tinggi (Gujral & Rosell, 2018), tidak berwarna, dan rasa hambar. Tepung beras adalah tepung yang berasal dari hasil penggilingan beras. Tepung ini memiliki berbagai macam variasi seperti tepung beras putih, tepung beras merah, tepung beras coklat, dan tepung beras hitam (Sompong et al., 2019). Berbagai varian tepung beras ini dipengaruhi oleh varian beras yang berbeda-beda, dimana terdapat beras putih, beras merah, beras coklat dan beras hitam. Penamaan ini merujuk pada warna kernel yang dibentuk oleh endapan antosianin di berbagai lapisan *pericarp*, kulit biji dan aleurone pada beras (Sompong et al., 2019).

Untuk menjadi tepung beras, beras akan melalui beberapa tahapan. Proses pengolahan berbagai jenis beras menjadi tepung beras memiliki cara yang hampir sama. Perbedaan antara pengolahan beras berbagai variasi terletak pada proses *milling*, beras putih akan mengalami proses *milling* yang lebih lanjut untuk menghilangkan *bran* dan *germ* dari beras, sedangkan pada beras coklat hanya lapisan *husk* luar yang dihilangkan selama proses *milling* dan tidak dilakukan *milling* lebih lanjut. Pada proses milling beras merah, hanya *outermost layer* yang dihilangkan. Perbedaaan lapisan luar yang masih terdapat pada variasi beras akan berpengaruh terhadap kadar nutrisi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. Lapisan pada beras tersebut dapat meningkatkan kadar serat, protein, dan mineral.

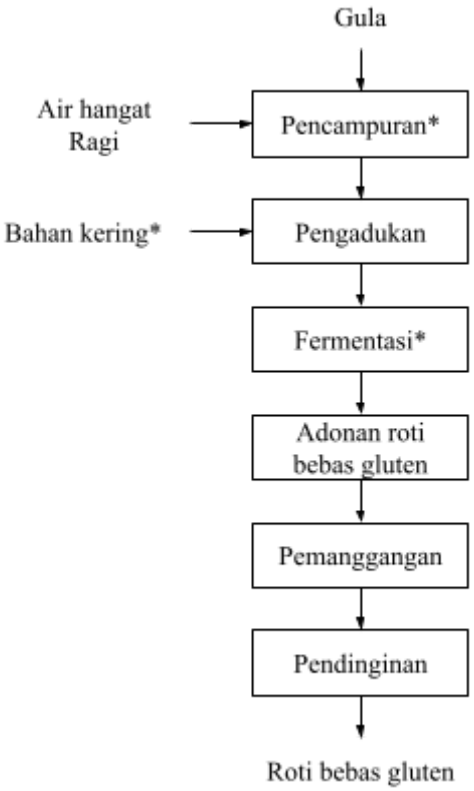
Kadar abu menandakan jumlah mineral yang terkandung dalam tepung. Kadar abu pada tepung beras sangat ditentukan oleh kadar abu beras setelah proses *milling* (NDSU, 2020). Kadar abu dapat mempengaruhi berbagai karakteristik pangan termasuk sifat fisiokimia dan gizi. Kandungan protein pada beras yang nantinya akan diolah menjadi tepung beras berbanding terbalik dengan jumlah pati dan kandungan

lipid. Tepung beras dengan kandungan protein yang tinggi akan memiliki kandungan pati dan lipid dalam tepung lebih rendah, dan sebaliknya (Nandiyanto, 2022). Kadar serat yang lebih tinggi ditunjukkan oleh variasi beras yang masih memiliki lapisan luar (Tabel 1).

PROSES PEMBUATAN ROTI BEBAS GLUTEN DARI BERBAGAI JENIS TEPUNG BERAS

Pembuatan roti bebas gluten memiliki proses yang hampir sama dengan pembuatan roti dengan terigu. Gambar 1 menjelaskan tahapan proses pembuatan roti bebas gluten berbahan dasar berbagai jenis tepung beras. Pada pemanggangan konvensional, roti bergluten biasanya dihasilkan dari adonan dengan kadar air sekitar 85–90%. Setelah berbagai waktu fermentasi (membutuhkan waktu sekitar 20 menit hingga 90 menit), adonan dipanggang dalam oven pemanggang selama kurang lebih 1 jam, dimana panas dipindahkan dari luar ke dalam adonan hingga mencapai suhu inti maksimum sekitar 100°C dan kemudian ditahan hingga kering dan terbentuk *crust*. Formulasi roti bebas gluten biasanya membutuhkan air dua kali lebih banyak dibandingkan roti gandum. Karena tidak adanya jaringan protein, retensi gas terutama dikendalikan oleh gelatinisasi pati selama pemanggangan dan oleh karena itu diperlukan penambahan air yang lebih banyak (Schoenlechner et al., 2020).

Adonan roti bebas gluten yang dihasilkan bukan berupa adonan yang bisa diuleni seperti pada pembuatan roti dengan gluten, roti bebas gluten biasanya memiliki konsistensi lebih seperti *batter* akibat dari penambahan jumlah air yang lebih banyak. Penambahan air yang lebih banyak diharapkan dapat meningkatkan volume spesifik roti bebas gluten. Pada tahapan awal pembuatan roti bebas gluten, ragi terlebih dahulu dicampurkan dengan air hangat dan gula untuk aktivasi ragi, setelah itu dilakukan pengadukan dengan bahan kering hingga rata kemudian dilakukan fermentasi yang bervariasi untuk mendapatkan adonan roti bebas gluten, kemudian dilakukan pemanggangan dengan waktu yang bervariasi, data untuk waktu fermentasi, pemanggangan dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan roti bebas gluten

Lama pemanggangan, waktu fermentasi dan suhu pemanasan menyesuaikan dengan jumlah adonan yang dibuat. Waktu fermentasi roti berbahan tepung beras berkisar antara 20-60 menit dengan suhu fermentasi dan *Relative humidity* (RH) dikondisikan berkisar antara 30-35°C dan 80-90% berturut-turut. Pada pembuatan roti bebas gluten dilakukan penambahan bahan dari kelompok hidrokoloid seperti xanthan gum sebagai penstabil dan membantu pembentukan struktur dengan cara mengikat bahan-bahan menjadi satu dan memberikan kelembapan serta struktur yakni membantu dalam retensi

Tabel 2. Waktu Fermentasi Serta Suhu dan Waktu Pemanggangan Roti Bebas Gluten dengan Berbagai Jenis Tepung Beras

Jenis Tepung	Waktu	RH	Suhu Fermentasi	Suhu Pemanggangan	Waktu Pemanggangan	Referensi
Tepung beras putih	20 menit	85%	35°C	185°C	20 menit	Feizollahi et al., 2018
	30 menit	90%	32°C	174°C	20 menit	Ilowefah et al., 2019
Tepung beras merah	20±2 menit	85%	30 ± 1°C	180 ± 5°C	40 ± 2 menit	Burešová et al., 2023
	60 menit	80%	30 °C	190°C	40 ± 2 menit	Gusmao at al., 2019
Tepung beras coklat	30 menit	80-90 %	30°C	225°C	35 menit	Wunthunyarat, 2019
	35 menit	N/A	30°C	190°C	40 menit	Luo et al., 2021
Tepung beras hitam	20±2 menit	85%	30± 1°C	180 ± 5°C	40 ± 2 menit	Burešová et al., 2023
	90 menit	N/A	30°C	190°C	30 menit	Banu & Aprodu, 2022

gas CO2 sehingga meningkatkan volume spesifik roti bebas gluten. *Xanthan Gum* menambah kekentalan dan kekentalan pada produk bebas gluten (Preichardt, 2016).

Lama waktu pemanggangan dipengaruhi oleh masih adanya lapisan *bran* pada tepung beras, beras putih tidak memiliki lapisan *bran* saat proses pembuatan tepung, akibatnya kandungan serat yang ada lebih rendah dibandingkan jenis tepung beras lainnya seperti yang dapat dilihat pada tabel 1. Roti bebas gluten dengan jumlah serat lebih tinggi akan lebih membutuhkan waktu pemanggangan yang lebih lama dibandingkan roti bebas gluten dengan jumlah serat yang lebih rendah. Serat alami dapat menurunkan konduktivitas termal, memungkinkannya digunakan sebagai isolator (Shalwan et al., 2022), sehingga membutuhkan waktu pemanggangan yang lebih lama agar panas dapat mencapai inti roti bebas gluten. Serat juga berpengaruh terhadap suhu yang diperlukan untuk memanggang roti bebas gluten. Karena sifatnya yang sebagai insulator, diperlukan suhu yang lebih tinggi saat proses pemanggangan agar inti roti mencapai panas yang diinginkan.

Peningkatan suhu pemanggangan secara konstan pada saat pemanggangan akan mempertahankan kelembapan yang lebih tinggi pada remah roti, sedangkan peningkatan waktu memanggang akan mengurangi kelembaban dalam remah. Kecenderungan ini berpotensi disebabkan oleh dua faktor yaitu derajat gelatinisasi pati dan pembentukan kerak roti. Perbedaan lama waktu fermentasi bertujuan untuk menghasilkan roti bebas gluten yang lebih mengembang, RH dan suhu fermentasi kurang lebih sama untuk tiap jenis tepung beras yang digunakan. Tepung menjadi terhidrasi selama pembentukan adonan untuk dipanggang karena adanya pengikatan air dengan masing-masing komponen tepung. Terjadi pembengkakan butiran pati ketika air menembus daerah amorf dan membentuk ikatan hidrogen dengan gugus -OH pada glukosa (Kovrlija & Rondeau-Mouro, 2017; Vamadevan & Bertoft, 2020). Migrasi heterogen air ke dalam butiran pati dan adanya bahan lain yang bersaing dengan air menyebabkan pembengkakan butiran pati

tidak seragam. Kekuatan pembengkakan pati berhubungan dengan distribusi panjang rantai, konformasi struktural, dan rasio antara amilosa-amilopektin. Ikatan hidrogen antara amilosa dan air relatif lemah, dan tekanan mekanis seperti pengadukan dan pencampuran mengubah obligasi (Schiraldi & Fessas, 2012).

Selama pemanggangan, pati mengalami perubahan mendasar yang memberikan ciri khas pada makanan yang dipanggang. Amilopektin (tergantung pada panjang rantai dan derajatnya percabangan) meningkatkan kemampuan pembengkakan dan mempertahankan integritas butiran sampai hancur saat dipanggang (Vamadevan & Bertoft, 2020). Amilosa cenderung membatasi penyerapan air dan pembengkakan butiran pati (Li et al., 2020). Demikian pula, butiran tipe B sering kali menampilkan puncak dengan viskositas yang lebih rendah karena kandungan amilosa dan lipid yang tinggi sehingga menghambat pembengkakan butiran (Zhang et al., 2021). Li et al. (2020) menunjukkan bahwa rantai amilosa panjang dan struktur amilopektin yang sangat bercabang meningkatkan stabilitas butiran pati, karena peningkatan retensi air kapasitas oleh ikatan hidrogen. Tepung yang mengandung amilopektin tinggi mempu daya kapasitas penyerapan air yang tinggi.

Pemanasan air berlebih mengganggu stabilitas kristal pati di daerah dimana ikatan antarmolekulnya lemah, menyebabkan terbukanya struktur heliks ganda (Huber & Bemiller, 2017). Hal ini menyebabkan gelatinisasi pati yang melibatkan transisi molekuler ireversibel dan perubahan sifat pati, yaitu pembengkakan granul, hilangnya *birefringence*, pencairan kristalit, gangguan struktur granula (Warren et al., 2016), dan amilosa linier dan molekul amilopektin bercabang kecil (Vamadevan & Bertoft, 2020). Tingkat gelatinisasi ditentukan oleh beberapa faktor seperti keberadaan air, suhu, dan struktur butiran (Hu et al., 2017). Energi diperlukan untuk menginduksi pembengkakan pati, mengganggu tatanan molekuler, dan gelatinisasi pati. Gelatinisasi pati diukur dengan gelatinisasi entalpi pada suhu berkisar antara 50-80°C (Warren et al., 2016). Tepung dengan kandungan amilopektin yang tinggi menampilkan permulaan gelasi yang lebih tinggi dan suhu puncak sebagai serta entalpi gelatinisasi yang lebih tinggi dibandingkan tepung yang mengandung lebih banyak polimer amilosa.

Perbedaan waktu dan suhu pemanggangan roti bebas gluten dengan berbagai jenis tepung beras disebabkan oleh kandungan nutrisi yang terkandung, serat memiliki pengaruh paling besar terhadap waktu dan suhu pemanggangan. Roti bebas gluten berbahan dasar tepung beras putih memerlukan suhu pemanggangan yang lebih rendah dan waktu lebih sedikit karena rendahnya kandungan serat (Tabel 1). Roti bebas gluten dengan tepung beras merah, tepung beras coklat, dan tepung beras hitam memerlukan waktu pemanggangan lebih panjang dan suhu lebih tinggi akibat dari kandungan serat yang dimiliki (Tabel 1).

Selama proses pemanasan, protein terdenaturasi dan gelatinisasi parsial pati terjadi sehingga adonan mengembang. Maltosa (dimanfaatkan oleh ragi selama fermentasi) dan maltooligosakarida lainnya diproduksi selama hidrolisis pati oleh amilase (Goesaert et al., 2015). Kehadiran gula pereduksi yang dihasilkan mendorong pembentukan produk reaksi Maillard menambah warna *crust* dan rasa roti. Biasanya, ß-amilase dinonaktifkan pada suhu 60-70°C dan a-amilase pada suhu 75- 85°C. Enzim amilolitik diinaktivasi pada suhu 65°C atau lebih tinggi. Oleh karena itu, produksi maltosa terus berlanjut pada tahap awal pemanggangan. Aktivitas a-amilase yang cukup memastikan kenaikan adonan bertahan lama saat dipanggang yang dapat mendukung

volume roti. Aktivitas amilase yang tidak memadai menghambat produksi maltosa yang masuk dan mengurangi jumlah karbon dioksida yang dilepaskan oleh ragi. Pembukaan pori pada roti terjadi akibat pelepasan CO2 dalam oven suasana selama proses memanggang. Hilangnya kemampuan menahan gas dimulai pada suhu 72°C dan bertahan hingga 88°C.

Pati berkontribusi besar terhadap pembentukan remah (struktur seluler internal roti) dan kerak (bagian luar roti) selama proses pemanggangan. Begitu masuk oven, suhu permukaan adonan meningkat dengan cepat memungkinkan uap air menguap dan terbentuk kerak roti. Lingkungan dengan kelembaban rendah mencegah gelatinisasi butiran pati sempurna di dalam kerak. Produk yang dipanggang pada dasarnya memiliki struktur sel terbuka yang saling berhubungan di seluruh remahnya (Grenier et al., 2021). Transisi dari *foam* menjadi spons dan suhu titik pusat akhir sangat penting untuk kualitas produk akhir yang dihasilkan. Suhu inti antara 92-95°C cukup untuk menunjukkan akhir proses pemanggangan ketika roti telah kokoh serta memiliki kemampuan mer pemotongan (Cauvain, 2015).

Pati, protein, dan air terlibat dalam perubahan fisikokimia selama pendinginan dan penyimpanan yang berpengaruh pada struktur roti. Rekristalisasi amilopektin, amilase mekanisme aksi (Leman et al., 2009), redistribusi air (Aguirre et al., 2011), dan senyawa seperti protein (Gao et al., 2020) sebagian besar bertanggung jawab atas perubahan kekencangan remah pasca dipanggang. Selama pendinginan dan penyimpanan struktur non-kristal, wilayah kristal dipulihkan karena asosiasi ulang polimer terdispersi yang tidak stabil untuk membentuk kristalit baru (Besbes et al., 2016). Namun retrogradasi dipengaruhi oleh keberadaan komponen tertentu pada tepung, yaitu enzim, protein, serta beberapa faktor lingkungan seperti laju pemanasan selama memanggang, kondisi penyimpanan, dan kelembapan tingkat migrasi mengakibatkan kehilangan rasa, aroma, renyah *crust,* dan meningkatkan kekencangan *crumb*.

KARAKTERISTIK ROTI BEBAS GLUTEN BERBAHAN DASAR VARIASI TEPUNG BERAS

Karakteristik fisik roti bebas gluten terdiri dari warna, tekstur dan volume. Karakteristik roti bebas gluten berbeda dalam tekstur dan volume akibat tidak adanya gluten terkandung pada tepung beras. Tepung beras dengan kandungan pati yang tinggi akan menciptakan roti bebas gluten dengan tekstur yang paling baik dan dapat mempertahankan volumenya. Tepung beras dengan kandungan amilosa yang rendah akan menghasilkan roti bebas gluten dengan kelembutan yang baik. Tepung beras dengan kandungan amilosa sedang menghasilkan tekstur yang *chewy* dan kelembutan yang cukup.

Meskipun penilaian akhir mengenai roti berkualitas tinggi bervariasi dari orang ke orang, masih ada standar yang diterima secara luas, seperti volume spesifik (Hager & Arendt, 2013). Volume spesifik roti berhubungan dengan struktur remah, semakin banyak udara yang tertahan di dalam roti, semakin besar volume spesifik roti tersebut. Kekerasan roti berhubungan dengan struktur remahnya. Semakin padat struktur remahnya, semakin keras roti tersebut (Ortiz de Erive et al., 2020). Roti dengan kohesivitas tinggi mempunyai kohesi internal yang lebih tinggi dan tidak akan membetuk pecahan saat mengunyah, yang mungkin saja terjadi sehingga meningkatkan penerimaan konsumen terhadap roti (De La Hera et al., 2014).

Roti bebas gluten yang terbuat dari tepung beras hitam memiliki kandungan protein paling tinggi dibandingkan roti bebas gluten dengan jenis tepung beras lainnya.

Tingginya protein yang terkandung pada tepung beras akan berpengaruh kepada kekokohan struktur roti bebas gluten. Kekokohan struktur roti akan meningkat seiring dengan *staling* (Gallagher et al., 2015). Tepung beras putih memiliki kandungan lemak paling tinggi dibandingkan tepung beras lainnya sehingga akan menghasilkan tekstur yang lebih lembut, karena lebih baiknya aerasi adonan (Renzyaeva, 2013).

Roti dengan gluten memiliki warna kecerahan yang lebih rendah dibandingkan roti bebas gluten (Guzmán-López et al., 2021). Jumlah protein akan berpengaruh terhadap gelap dan terangnya roti bebas gluten yang dihasilkan. Roti bebas gluten dari tepung beras merah dengan penambahan pati kentang memiliki lightness paling tinggi. Warna yang lebih gelap pada roti bebas gluten terkait dengan interaksi gugus amino dengan gula pereduksi pada reaksi Maillard saat terbentuknya melanoidin. Warna roti bebas gluten selain dipengaruhi oleh reaksi maillard juga dipengaruhi oleh keberadaan pigmen yang terkandung pada beras, adanya pigmen ini akan membuat roti bebas gluten memiliki warna yang lebih kecoklatan. Antosianin merupakan pigmen yang ada pada beras hitam dan merah serta proantosianidin pada konsentrasi tinggi sebagai pigmen utamanya (Hasoda et al., 2018).

Volume spesifik dari roti bebas gluten berkisar antara 1.33 hingga 6.60 (g/cm3). Perbedaan volume spesifik dipengaruhi oleh jenis tepung beras yang digunakan untuk pembuatan roti bebas gluten. Perbedaan kadar serat antar tepung beras berpengaruh terhadap pemerangkapan gas CO2, kadar serat yang tinggi (Tabel 1) akan menurunkan kemampuan roti bebas gluten untuk memerangkap gas CO2 sehingga roti yang dihasilkan kurang dapat mengalami pengembangan. Penambahan pati dari sumber lain dapat meningkatkan spesifik volume roti karena adanya perbedaan ukuran pati. Roti bebas gluten dengan penambahan pati kentang dapat meningkatkan spesifik volume karena ukuran partikel pati kentang yang besar, sehingga ketika pati kentang tergelatinisasi dapat memberikan pengembangan volume yang lebih besar.

Tingginya kadar pati dalam beras berarti semakin banyaknya jumlah pati yang tergelatinisasi selama proses pemanggangan, meningkatkan volume spesifik roti bebas gluten. Sehingga dapat dilihat pada Tabel 3, roti bebas gluten berbahan dasar tepung beras putih memiliki volume spesifik yang lebih tinggi jika dibandingkan roti bebas gluten berbahan dasar variasi tepung beras lainnya. Penambahan pati dalam pembuatan roti bebas gluten dapat memperbesar volume spesifik karena semakin banyaknya jumlah pati tergelatinisasi. Penambahan pati kentang dapat meningkatkan volume spesifik roti bebas gluten (Tabel 3), roti bebas gluten berbahan dasar tepung beras merah dengan penambahan pati kentang memiliki volume spesifik lebih tinggi dibandingkan roti bebas gluten berbahan dasar tepung beras merah dengan penambahan komponen lainnya.

Kandungan protein serta kadar pati pada tepung beras berpengaruh terhadap tekstur roti bebas gluten yang dihasilkan, pada tepung beras yang memiliki protein lebih tinggi akan menghasilkan roti dengan tekstur yang lebih *firm,* protein akan berpengaruh terhadap kekerasan roti karena berhubungan dengan kemampuan menyerap air. Kandungan protein yang rendah pada tepung mengurangi penyerapan air pada adonan sehingga mengurangi kerusakan pati. Rusaknya pati berdampak pada terbentuknya struktur internal yang tidak homogen pada roti bebas gluten akibat terbentuknya pori-pori. Peningkatan jumlah pati yang rusak berkorelasi dengan pembentukan banyak pori- pori, menyebabkan struktur roti bebas gluten menjadi rapuh. Sebaliknya, kerusakan

Tabel 3. Karakteristik Fisika Roti Bebas Gluten dari Berbagai Jebis Tepung Beras

Jenis Tepung	Bahan Tambahan	Volume Spesifik (cm^3/g)	Tekstur	Warna			Referensi
				L*	a*	b*	
Tepung Beras Putih	-	5,70±1,76	5,07±1,51	66,29±0,27	8,51±0,15	22,58±1,09	Kim et al., 2018
	Pati kentang (80:20)	6,60±1,25	7,37±1,13	63,29±1,22	9,39±0,43	25,36±1,15	Loan et al., 2017
	Maizena (80:20)	5,93±1,28	5.83±1,15	67,33±0,92	8,16±0,09	22,17±0,91	Kim et al., 2018
Tepung Beras Merah	Pati singkong (50:50), *bread improver*	2,58 ± 0,62	4,70±1,05	62,03 ± 0,06	7,43 ± 0,02	16,09 ± 0,21	Gusmao at al., 2019
	Pati kentang (80:20)	3,20 ± 0,10	6,03 ± 1,58	83,09 ± 0,57	−0,07 ± 0,93	13,73 ± 1,5	Ronie et al., 2022
Tepung Beras Coklat	-	1,59± 0,01	N/A	64,50± 2,17	7,98± 0,13	25,49± 0,47	Wunthunyarat, 2020
	-	N/A	5,59 ± 1,65	77,07 ± 1,2	4,53 ± 1,04	18,47 ± 1,07	Gabriella, et al., 2020
Tepung Beras Hitam	Lesitin 6%	1,33	N/A	14,26 ± 0.06	5,51 ± 0.01	-1,53 ± 0,01	Banu & Aprodu, 2022
	Tepung maizena	N/A	N/A	30,94±0,54	10,70±0,19	4,03±0,38	Eun, 2016
Tepung beras putih	Pati singkong	3,44 ± 0,24	4,89 ± 0,50	1,75 ± 0,10	47,30 ± 0,80	N/A	Nadal et al., 2018)
	Tepung tapioka dan maizena	7,25 ± 0,21	0,35 ± 0,07	N/A	44,45	2,90 ± 0,39	Gabriella et al., 2020
	Tepung kentang dan maizena	8,91±0.05	1,42±0,32	0,79±0.01	N/A	8,39±0,12	Feizollahi et al., 2018

pati yang lebih sedikit akan menghambat pembentukan pori-pori di struktur internal, yang meningkatkan kekerasan kue. Kandungan pati mempengaruhi karakteristik roti karena pati merupakan komponen utama tepung digunakan (Burešová et al., 2023).

Roti bebas gluten berbahan dasar tepung beras putih memiliki nilai tekstur lebih tinggi dibandingkan penggunaan variasi tepung beras lainnya (Tabel 3). Roti bebas gluten bergantung pada kadar serat. Kadar serat berpengaruh terhadap susunan pati roti bebas gluten, keberadaan serat akan mengganggu struktur susunan pati tergelatinisasi sehingga pati tidak dapat saling berdekatan dan menempel, membentuk struktur roti bebas gluten yang lebih kokoh. Roti bebas gluten dengan kadar serat semakin tinggi akan menghasilkan roti bebas gluten dengan tekstur lebih rapuh, memberikan nilai tekstur

yang lebih kecil.

Pada pembuatan roti bebas gluten dari berbagai jenis tepung beras diberikan penambahan pati. Pati dapat diperoleh dari berbagai sumber tumbuhan, misalnya seperti jagung, singkong dan kentang yang merupakan salah satu sumber utama pati pangan. Butiran pati kentang memiliki distribusi ukuran lebih besar antara 5 dan 100 μm, dibandingkan tapioka (4-35 μm), atau jagung (2-30 μm) (Kim & Jeong, 2015). Butiran pati yang lebih besar membuatnya lebih mudah mengembang (Onyango et al., 2011). Penambahan tepung kentang ke dalam tepung beras meningkatkan tekstur, dibandingkan roti bebas gluten dengan 100% tepung beras. Pada Tabel 3 menunjukkan penambahan pati dapat meningkatkan nilai tekstur roti bebas gluten.

Kandungan lemak pada roti bebas gluten beragam, bergantung pada bahan tambahan yang digunakan dalam pembuatan roti bebas gluten. Abu menunjukkan jumlah mineral yang terdapat dalam roti bebas gluten dari tepung beras, kadar abu tertinggi ditunjukkan oleh tepung beras merah. Roti bebas gluten dari tepung beras merah memiliki kadar air paling tinggi, sehingga roti yang dihasilkan akan lebih moist.

KESIMPULAN

Roti bebas gluten yang terbuat dari berbagai jenis tepung beras yakni tepung beras putih, tepung beras merah, tepung beras hitam dan tepung beras coklat dapat menjadi alternatif pengganti tepung terigu dengan sifatnya yang hipoalergenik sehingga aman dikonsumsi oleh orang dengan berbagai latar belakang kesehatan. Adanya perbedaan jenis tepung beras yang digunakan dalam pembuatan roti bebas gluten memberikan perbedaan pada suhu pemanggangan. Keberadaan serat dalam variasi beras akan meningkatkan lama waktu pemanggangan dan suhu pemanggangan.

Perbedaan sifat fisikokimia yang terkandung pada roti bebas gluten ini disebabkan oleh perbedaan jenis tepung beras yang digunakan. Roti berbahan tepung beras dengan kadar serat yang lebih rendah akan memiliki volume spesifik lebih tinggi dan nilai tekstur yang lebih baik. Volume spesifik dan nilai tekstur roti bebas gluten dapat dinaikkan dengan menambahkan pati dari sumber pangan lainnya. Penambahan pati kentang menunjukkan peningkatan volume spefisik dan nilai tekstur roti bebas gluten paling baik, hal ini disebabkan oleh perbedaan ukuran partikel pati, Dimana pati kentang memiliki ukuran partikel pati yang besar sehingga saat tergelatinisasi dapat terbentuk volume roti bebas gluten yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Abdel Aal. (2019). *Functionality of Starches and Hydrocolloids in Gluten-Free Foods*. Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444316209.ch11

Almeida, R. L. J., dos Santos Pereira, T., Almeida, R. D., Santiago, Â. M., de Lima Marsiglia, W. I. M., Nabeshima, E. H., de Sousa Conrado, L., & de Gusmão, R. P. (2021). Rheological and technological characterization of red rice modified starch and jaboticaba peel powder mixtures. *Scientific Reports*, *11*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-88627-4

Amin, T., Naik, H. R., Hussain, S. Z., Mir, M. A., & Jabeen, A. (2018). In vitro digestion, physicochemical and morphological properties of low glycemic index rice flour prepared through enzymatic hydrolysis. *International Journal of Food Properties*, *21*(1), 2632–2645. https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1545789

Asker, G., & Mousa, M. (2021). Processing Gluten- Free Noodles Fortified with Chickpea Flour. *Journal of Food and Dairy Sciences*, *12*(9), 203–209.

Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 18). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/APP10186559

Celiac Disease Foundation. (2020). Incidence of Celiac Disease Steadily Increasing. https://celiac.org/about-the-foundation/featured-news/2020/02/incidence-of-celiac-disease-steadily-increasing/. Tanggal akses 6 November 2023

Chreitah, A., Ibrahim, N., Eid, M., Aljanati, O., Alkilany, Z., Mohammed, A., & Melhem, I. (2022). Primary amenorrhea in a 17-year and 6-month old girl due to celiac disease: A case report. *Annals of Medicine and Surgery*, *84*. https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.104831

Cole, M. W., Ross, B. J., Collins, L. K., Imonugo, O., & Sherman, W. F. (2022). The Impact of Celiac Disease on Complication Rates After Total Joint Arthroplasty: A Matched Cohort Study. *Arthroplasty Today*, *17*, 205-210.e3. https://doi.org/10.1016/j.artd.2022.08.001

Coronel, E. B., Guiotto, E. N., Aspiroz, M. C., Tomás, M. C., Nolasco, S. M., & Capitani, M. I. (2021). Development Of Gluten-Free Premixes With Buckwheat and Chia Flours: Application In A Bread Product. LWT, 141. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110916

Croitoru, C., Muresan, C., Turturica, M., Stanciuc, N., Andronoiu, D. G., Dumitrajscu, L., Barbu, V., Enachi, E., Horincar, G., & Rapeanu, G. (2018). Improvement Of Quality Properties And Shelf Life Stability Of New Formulated Muffins Based On Black Rice. *Molecules,* *23*(11). https://doi.org/10.3390/molecules23113047

De la Hera, E., Rosell, C. M., & Gomez, M. (2014). Effect Of Water Content and Flour Particle Size On Gluten-Free Bread Quality and Digestibility. *Food Chemistry, 151*, 526–531. doi:10.1016/j.foodchem.2013.11.11

Eun, J.-B. (2022). *Quality Properties of Bread Made of Wheat Flour and Black Rice Flour*. https://www.researchgate.net/publication/263436730

Farooq, M. A., Murtaza, M. A., Aadil, R. M., Arshad, R., Rahaman, A., Siddique, R., Hassan, S., Akhtar, H. M. S., Manzoor, M. F., Karrar, E., Ali, A., & Haq, A. U. (2021). Investigating the structural properties and in vitro digestion of rice flours. *Food Science and Nutrition*, *9*(5), 2668–2675. https://doi.org/10.1002/fsn3.2225

Gallagher, E., McCarthy, D., Gormley, T., & Arendt, E. (2015). Improving The Quality Of Gluten-Free Products. The National Food Center, Research Report 67

Gujral, H. S., & Rosell, C. M. (2018). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*, *37*(1), 75–81. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.08.001

Gusmão, T. A. S., de Gusmão, R. P., Moura, H. V., Silva, H. A., Cavalcanti-Mata, M. E. R. M., & Duarte, M. E. M. (2019). Production of prebiotic gluten-free bread with red rice flour and different microbial transglutaminase concentrations: modeling, sensory and multivariate data analysis. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(6), 2949–2958. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03769-8

Gonzales-Barron, U., Dijkshoorn, R., Maloncy, M., Finimundy, T., Carocho, M., Ferreira, I. C. F., Barros, L., Cadavez, V. (2020). Nutritional Quality and Staling Of Wheat Bread Partially Replaced With Mesquite (Prosopis Pallida) Flour. Food Research International, https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109621

Handoko, D. D., Mardiah, Z., Septianingrum, E., & Indrasari, S. D. (2021). Physicochemical properties of some

improved indonesian red rice flour varieties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *828*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/828/1/012023

Heberle, T., Ávila, B. P., Nascimento, L. Á. do, & Gularte, M. A. (2022). Consumer perception of breads made with germinated rice flour and its nutritional and technological properties. *Applied Food Research*, *2*(2). https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100142

Horstmann, S. W., Lynch, K. M., & Arendt, E. K. (2017). Starch characteristics linked to gluten-free products. In *Foods* (Vol. 6, Issue 4, pp. 1–21). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/foods6040029

Ilowefah, M., Bakar, J., Ghazali, H. M., Mediani, A., & Muhammad, K. (2018). Physicochemical and functional properties of yeast fermented brown rice flour. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(9), 5534–5545. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1661-7

Ilowefah, M., Chinma, C., Bakar, J., Ghazali, H. M., Muhammad, K., & Makeri, M. (2019). Fermented brown rice flour as functional food ingredient. *Foods*, *3*(1), 149–159. https://doi.org/10.3390/foods3010149

Iqbal, H., Ali, T. M., Arif, S., Akbar, Q. ul A., & Saeed, M. (2023). Effects of red rice flour addition on the rheological, textural, sensory and bioactive properties of wheat flour-based pan breads. *International Journal of Food Science and Technology, 58*(1), 473–481. https://doi.org/10.1111/ijfs.16047

Kårhus, L. L., Skaaby, T., Madsen, A. L., Thuesen, B. H., Schwarz, P., Rumessen, J. J., & Linneberg, A. (2019). The association of celiac disease and allergic disease in a general adult population. *United European Gastroenterology Journal*, *7*(1), 78–89. https://doi.org/10.1177/2050640618811485

Kim, M., Yun, Y., & Jeong, Y. (2015). Effects of corn, potato, and tapioca starches on the quality of gluten-free rice bread. *Food Science and Biotechnology, 24*(3), 913–919. https://doi.org/10.1007/s10068-015-0118-8

Korus, J., Witczak, M., Korus, A., & Juszczak, L. (2022). Mesquite (*Prosopis* L.) As A Functional Ingredient In Gluten-Free Dough and Bread. *Journal of Food Science and Technology, 168.*

Kumar, C.S., Malleshi, N. G., Bhattacharya, S. A. (2018). Comparison Of Selected Quality Attributes Of Flours: Effects Of Dry and Wet Grinding Methods. *International Journal Food Properties, 11*, 845–857

Lai, S. F., Chen, Y. W., Lee, S. M., Huang, H. Y., Huang, Y. H., Lu, Y. C., & Chen, C. W. (2023). Development and Optimization of Black Rice (Oryza sativa L.) Sourdough Fermented by Levilactobacillus brevis LUC 247 for Physicochemical Characteristics and Antioxidant Capacity. Foods, 12(7). https://doi.org/10.3390/foods12071389

Lee, Y. T., & Kim, Y. (2021). Physicochemical properties of brown rice flours differing in amylose content prepared by different milling methods. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, *40*(12), 1797–1801. https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.12.1797

Leewatchararongjaroen, J., Anuntagool, J. (2016). Effects of Dry-Milling and Wet-Milling on Chemical, Physical and Gelatinization Properties of Rice Flour. *Journal of Rice Science, 23*, 274–281

Lis, D., Stellingwerff, T., Shing, C., Ahuja, K., Fell, J. (2015). Exploring The Popularity, Experiences, and Beliefs Surrounding Gluten-Free Diets In Nonceliac Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 25*, 37–45.

Malomo, O., Ogunmoyela, O. A. B., Oluwajoba, S. O., Dudu, O. E., & Odeyemi, O. A. (2012). MICROBIOLOGICAL AND NUTRITIONAL QUALITY OF WARANKASHI ENRICHED BREAD.

In *Journal of Microbiology* (Vol. 2, Issue 1).

Masniawati, A., Marwah Asrul, N. Al, Johannes, E., & Asnady, M. (2018). Characterization of rice physicochemical properties local rice germplasm from Tana Toraja regency of South Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*, *979*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/979/1/012005

Muhammed, S. (2023, February 12). *Total rice consumption worldwide from 2008/2009 to 2022/2023* .

Nadal, J., Ávila, S., Boing, L., Pereira, M. M., Quadros, D. A. de, Gibbert, L., Silva, A. D., Frizon, C. N. T., Krüger, C. C. H., & Ferreira, S. M. R. (2021). Influence of binary mixtures of cassava starch and rice flour on the chemical and sensory characteristics of gluten-free bread. Research, Society and Development, 10(3), e13910313120.https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13120

Puncha-Arnon, S., & Uttapap, D. (2013). Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydrate Polymers*, *91*(1), 85–91. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.08.006

Puri, S., Dhillon, B., & Banura, S. (2019). *To Formulate and Analyze Brown Rice Puddings for its Physico-Chemical and Sensory Attributes View project Development and promotion of seabuckthorn based foods View project To Formulate and Analyze Brown Rice Puddings for its Physico-Chemical and Sensory Attributes*. https://www.researchgate.net/publication/281272052

Purwanti, Y., El Rizal Unzilatirrizqi, Y. D., Ilmu dan Teknologi Pangan, J., Sains dan Teknologi, F., & Muhadi Setiabudi, U. (2022). Karakteristik Fisikokimia dan Penilaian Organoleptik Cookies Tepung Beras Hitam [The Physicochemical and Organoleptic Assessments of Cookies Made from Black Rice Flour]. In *J. Sains dan Teknologi Pangan* (Vol. 7, Issue 5). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33772/jstp.v7i5.27715

Pycia, K., & Juszczak, L. (2022). The Effect of the Addition of Hazelnut or Walnut Flour on the Rheological Characteristics of Wheat Dough. Materials, 15(3). https://doi.org/10.3390/ma15030782

Qian, H., & Zhang, H. (2019). Rice flour and related products. In *Handbook of Food Powders: Processes and Properties* (pp. 553–575). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1533/9780857098672.3.553

Rashid, S. A., & Ibrahim, D. (2014). A new latent lovastatin producer viz. Fusarium pseudocircinatum IBRL B3-4, produced in laboratory tray system. In *Article in Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. http://www.pertanika.upm.edu.my/

Ridawati, & Alsuhendra. (2019). PEMBUATAN TEPUNG BERAS WARNA MENGGUNAKAN PEWARNA ALAMI DARI KAYU SECANG (Caesalpinia sappan L.). *Edusaintek*, *3*. http://prosiding.unimus.ac.id

Renzyaeva, T. v. (2013). On the role of fats in baked flour goods. Foods and Raw Materials, 1(1), 19–25. https://doi.org/10.12737/1513

Ronie, M. E., Mamat, H., Abdul Aziz, A. H., & Zainol, M. K. (2023). Proximate Compositions, Texture, and Sensory Profiles of Gluten-Free Bario Rice Bread Supplemented with Potato Starch. *Foods*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/foods12061172

Rózyło, R., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Cacak-Pietrzak, G., Miš, A., & Rudy, S. (2015). Physical Properties Of Gluten-Free Bread Caused By Water Addition. *International Agrophysics*, *29*(3), 353–364. https://doi.org/10.1515/intag-2015-0042

Różańska, M. B., Siger, A., Szwengiel, A., Dziedzic, K., & Mildner-Szkudlarz, S. (2021). Maillard Reaction Products In Gluten-Free Bread Made From Raw and Roasted Buckwheat Flour. Molecules, 26(5).

Sari, A. R., Martono, Y., & Rondonuwu, F. S. (2020). Identifikasi Kualitas Beras Putih (Oryza sativa L.) Berdasarkan Kandungan Amilosa dan Amilopektin di Pasar Tradisional dan "Selepan" Kota Salatiga. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, *12*(1), 24–30. https://doi.org/10.30599/jti.v12i1.599

Saastamoinen, K., & Penttinen, S. (2021). Visual seabed classification using k-means clustering, CIELAB colors and Gabor-filters. *Procedia Computer Science, 192*, 2471–2478. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.016

Schoenlechner, R., Mandala, I., Kiskini, A., Kostaropoulos, A., & Berghofer, E. (2020). Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten-free bread containing amaranth. *International Journal of Food Science and Technology*, *45*(4), 661–669. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02154.x

Šmídová, Z., & Rysová, J. (2022). Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. In *Foods*, 11(3). MDPI. https://doi.org/10.3390/foods11030480

Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G., & Berghofer, E. (2011). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*, *124*(1), 132–140. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.115

Skendi, A., Papageorgiou, M., & Varzakas, T. (2021). High protein substitutes for gluten in gluten‐free bread. In Foods (Vol. 10, Issue 9). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/foods10091997

Taghdir, M., Mazloomi, S. M., Honar, N., Sepandi, M., Ashourpour, M., & Salehi, M. (2017). Effect Of Soy Flour On Nutritional, Physicochemical, and Sensory Characteristics Of Gluten-Free Bread. *Food Science and Nutrition, 5(3)*, 439–445. https://doi.org/10.1002/fsn3.411

Thanuja, B., & Parimalavalli, R. (2022). Characterization of black rice flour modified by enzymatic and heat moisture treatment. *Materials Today: Proceedings*, *62*, 5209–5212. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.643

Thomas, R., & Bhat, R. (2018). Physiochemical Properties, Proximate Composition, and Cooking Qualities Of Locally Grown and Imported Rice Varieties Marketed In Penang, Malaysia. In *International Food Research Journal*, *20*(3).

Tuna, A., Cappa, C., Tokatli, F., & Alamprese, C. (2023). White bean and hazelnuts flours: Application in gluten-free bread. LWT, 184. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114995

Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2020). Bioactive compounds of rice (Oryza sativa L.): Review on paradigm and its potential benefit in human health. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 97, pp. 355–365). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.007

Vivas, B. M. (n.d.). Development Of Gluten-Free Bread Formulations.

Waewkum, P., & Singthong, J. (2021). Functional properties and bioactive compounds of pigmented brown rice flour. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *26*. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100289

Wang, G., Yan, X., Wang, B., Hu, X., Chen, X., Ding, W. (2022). Effects of milling methods on the properties of rice flour and steamed rice cakes. *Journal of Food Science and Technology, 167*, 113848

Wu, W., Qu, J., Blennow, A., Herburger, K., Hebelstrup, K. H., Guo, K., Xue, J., Xu, R., Zhu, C., Zhong, Y., & Guo, D. (2022). The effects of drought treatments on biosynthesis and structure of maize starches with different amylose content. *Carbohydrate Polymers*, *297*. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120045

Wunthunyarat, W. (2019). *Effects of Germination Conditions of Brown Rice*

in Relation to Flour Physicochemical Properties and Bread Qualities. https://scholarworks.uark.edu/etd

Zhang, G., Xu, J., Wang, Y., Sun, X., Huang, S., Huang, L., Liu, Y., Liu, H., & Sun, J. (2022). Combined transcriptome and metabolome analyses reveal the mechanisms of ultrasonication improvement of brown rice germination. *Ultrasonics Sonochemistry*, *91*. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106239

Zhang, W., Cheng, B., Zeng, X., Tang, Q., Shu, Z., & Wang, P. (2022). Physicochemical and Digestible Properties of Parboiled Black Rice With Different Amylose Contents. *Frontiers in Nutrition*, *9*. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.934209