



PERLAKUAN STRES PADA BERAS KECAMBAH SEBAGAI STRATEGI PENINGKATAN SENYAWA BIOAKTIF UNTUK PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL: KAJIAN LITERATUR

[Stress Treatments in Germinated Rice as a Strategy to Enhance Bioactive Compounds for Functional Food Development: A Literature Review]

Sellyda Elmiah¹, Jariyah¹, Hadi Munarko^{1*}

¹ Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

*Email: hadi.munarko.tp@upnjatim.ac.id (Telp: +6285712843070)

Diterima tanggal 1 Desember 2025

Disetujui tanggal 10 Desember 2025

ABSTRACT

Germinated rice is a functional food ingredient with high antioxidant activity and rich bioactive compounds, including γ -aminobutyric acid (GABA), phenolic compounds, and flavonoids. Stress treatments during germination have been shown to enhance bioactive compound levels and antioxidant activity, contributing to blood glucose regulation, neuroprotection, and prevention of oxidative cell damage. Combined ultrasound and 2% CaCl_2 stress treatment increased GABA, glycerol, and glutamate contents by 3.29-, 4.88-, and 2.02-fold, respectively, compared to the control. Meanwhile, treatment with Slightly Acidic Electrolyzed Water (SAEW, 10 ppm) increased GABA content from 1.8 to 7.35 mg/L. Germinated rice also shows high potential as a food ingredient, such as in snack bar formulations containing 50% germinated red bean flour and 50% red rice flour, resulting in protein and crude fiber contents of 14.16% and 6.71%, respectively. The combination of germination and stress treatments enhances the functional value of rice and supports the development of innovative functional foods, positioning germinated rice as a high-value functional food ingredient.

Keywords: Bioactive compounds, germinated rice, germination stress, functional food.

ABSTRAK

Beras kecambah merupakan ingredien pangan fungsional dengan aktivitas antioksidan tinggi serta kaya senyawa bioaktif, seperti γ -aminobutirat (GABA), senyawa fenolik, dan flavonoid. Penerapan perlakuan stres selama perkecambahan terbukti mampu meningkatkan kandungan senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan beras, yang berperan dalam pengaturan kadar glukosa darah, perlindungan fungsi saraf, dan pencegahan kerusakan sel akibat radikal bebas. Perlakuan stres kombinasi ultrasound dan CaCl_2 2% dilaporkan meningkatkan kadar GABA hingga 3,29 kali lipat, gliserol 4,88 kali lipat, dan glutamat 2,02 kali lipat dibandingkan kontrol. Selain itu, penggunaan Slightly Acidic Electrolyzed Water (SAEW, 10 ppm) meningkatkan kadar GABA dari 1,8 menjadi 7,35 mg/L. Beras kecambah juga berpotensi diaplikasikan sebagai bahan baku produk pangan, seperti snack bar berbasis campuran tepung kecambah kacang merah dan tepung beras merah (50:50) dengan kandungan protein 14,16% dan serat kasar 6,71%. Kombinasi proses perkecambahan dan perlakuan stres mendorong peningkatan nilai fungsional serta inovasi pengembangan produk pangan modern, sehingga beras kecambah berpotensi menjadi ingredien pangan fungsional bernilai tambah tinggi.

Kata kunci: Beras kecambah, pangan fungsional, senyawa bioaktif, stres perkecambahan.



PENDAHULUAN

Pangan fungsional semakin diminati seiring meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya kesehatan. Salah satu senyawa bioaktif penting dalam pangan fungsional adalah asam γ -aminobutirat (GABA). Produk pangan yang mengandung GABA diperkirakan berkembang dengan pertumbuhan pasar global 7,8% pada 2018–2022 dan mencapai 6,7 miliar USD pada tahun 2023 (Hou *et al.*, 2024). *European Food Safety Authority* juga merekomendasikan asupan GABA sekitar 550 mg per hari (Oketch *et al.*, 2021). Beras sebagai makanan pokok, khususnya beras pecah kulit, berpotensi besar dikembangkan menjadi pangan fungsional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkecambahan pada beras merah mampu meningkatkan kadar GABA secara signifikan. Selain itu, hasil uji klinis pada hewan maupun manusia juga membuktikan bahwa konsumsi beras merah berkecambah dapat membantu menurunkan kadar gula darah pada penderita diabetes, terutama karena kandungan GABA yang lebih tinggi (Golzarand *et al.*, 2022; Hao *et al.*, 2019).

Konsumsi beras merah atau beras pecah kulit masih rendah karena beras merah membutuhkan waktu masak lebih lama, serta menghasilkan nasi yang lebih keras dengan rasa yang kurang disukai. Penyosohan beras menjadi beras putih justru menghilangkan banyak zat gizi penting, seperti serat, vitamin E, asam lemak tidak jenuh, dan senyawa antioksidan seperti oryzanol. Perlu adanya upaya untuk mengoptimalkan beras merah agar bisa dimanfaatkan sebagai pangan fungsional tanpa kehilangan gizinya (Munarko *et al.*, 2019). Proses perkecambahan pada biji-bijian, termasuk beras, telah lama dikenal sebagai teknik sederhana yang efektif untuk meningkatkan nilai gizi sekaligus memperkaya senyawa bioaktif. Mekanisme ini bekerja dengan mengaktifkan sejumlah enzim yang berperan dalam sintesis metabolit sekunder, di antaranya fenolik, flavonoid, serta γ -aminobutirat (GABA) yang berkontribusi terhadap fungsi fisiologis yang bermanfaat bagi kesehatan (Indriarsih *et al.*, 2017).

Proses perkecambahan terbukti meningkatkan kadar GABA, fenolik, dan antioksidan, serta memperbaiki tekstur nasi sehingga lebih diterima konsumen (Indriarsih *et al.*, 2017). Berbagai studi juga mengungkap bahwa perkecambahan yang dikombinasikan dengan perlakuan stres (cekaman) tertentu, misalnya perendaman dalam larutan kalsium atau pemberian kondisi hipoksia, mampu menghasilkan kandungan senyawa bioaktif yang lebih tinggi. Cekaman tersebut diketahui merangsang aktivitas enzim glutamat dekarboksilase yang berperan penting dalam biosintesis GABA, sekaligus meningkatkan kapasitas antioksidan pada beras yang dikecambahkan (Munarko *et al.*, 2019). Kajian literatur ini bertujuan untuk membahas pengaruh perlakuan stres pada beras terhadap peningkatan senyawa bioaktif. Kajian ini diharapkan dapat memberikan perspektif bahwa perlakuan stres dapat digunakan sebagai strategi optimalisasi beras menjadi pangan fungsional.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa Bioaktif Beras Kecambah

Beras bukan hanya berfungsi sebagai sumber energi utama, tetapi juga mengandung berbagai senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai pangan fungsional. Beras utuh (*whole grain rice*) terutama pada lapisan bekatul dan lembaga, terdapat fitokimia penting seperti asam fenolat, flavonoid, antosianin, serta proantosianidin. Senyawa-senyawa ini berperan sebagai antioksidan alami yang mampu melindungi sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas dan stres oksidatif (Ciulu *et al.*, 2018). Antosianin banyak ditemukan pada beras hitam, tidak hanya memberi warna khas tetapi juga terbukti memiliki sifat antiinflamasi dan antikanker. Penelitian *in vitro* menunjukkan bahwa ekstrak antosianin dari beras hitam mampu menghambat motilitas sel kanker dan menurunkan aktivitas trombosit (Zhou *et al.*, 2017).

Fenolik merupakan salah satu kelompok fitokimia yang melimpah pada beras pecah kulit. Senyawa ini ditandai dengan keberadaan satu atau lebih cincin aromatik yang mengikat gugus hidroksil. Konsentrasi fenolik paling tinggi ditemukan pada bagian bekatul beras pecah kulit (Abubakar *et al.*, 2018). Senyawa fenolik dalam beras dapat dikelompokkan menjadi dua golongan utama, yaitu turunan dari asam p-hidroksibenzoat dan turunan dari asam p-hidroksisinamat. Derivat asam p-hidroksibenzoat mencakup asam p-hidroksibenzoat, asam protokatekuat, asam vanilat, asam siringat, serta asam galat. Sementara itu, kelompok asam p-hidroksisinamat terdiri atas senyawa seperti asam ferulat, asam p-kumarat, asam sinapat, asam kafeat, dan asam klorogenat (Gong *et al.*, 2017).

Asam γ -aminobutirat (GABA) merupakan salah satu jenis asam amino bebas yang berperan sebagai neurotransmitter penghambat pada sistem saraf manusia. Senyawa ini memiliki fungsi penting dalam menurunkan gejala tertentu, misalnya gangguan tidur dan kecemasan, serta berkontribusi pada pengendalian aktivitas neurologis, termasuk kemampuan belajar motorik. Tubuh manusia tidak mampu memproduksi GABA dalam jumlah yang memadai untuk memenuhi kebutuhan metaboliknya. Asupan tambahan melalui makanan menjadi krusial untuk menjaga keseimbangan fisiologis. Kelompok sereal menjadi sumber pangan utama yang dikenal sebagai sumber potensial GABA. Kadar GABA alami pada biji-bijian relatif rendah, berkisar antara 0,03 hingga 3,35 mg/g sehingga kontribusinya terhadap kebutuhan harian masih terbatas sehingga dikembangkan berbagai pendekatan untuk meningkatkan kandungan GABA pada biji-bijian, antara lain melalui proses perkecambahan terkendali, pemberian tekanan lingkungan, dan fermentasi dengan bantuan mikroorganisme (Yu *et al.*, 2023).

Peningkatan kadar GABA selama proses perkecambahan sangat dipengaruhi oleh kerja enzim yang berperan dalam mengubah asam L-glutamat menjadi suksinat melalui mekanisme yang dikenal sebagai jalur *GABA shunt*. Tahapan awal dari jalur ini adalah reaksi dekarboksilasi ireversibel asam L-glutamat menjadi GABA dengan bantuan enzim glutamat dekarboksilase (GAD) (Munarko *et al.*, 2019). Proses perkecambahan pada beras pecah kulit telah terbukti efektif meningkatkan kandungan GABA, baik melalui berbagai metode perendaman maupun



perkecambahan yang digunakan. Peningkatan tersebut sangat erat hubungannya dengan aktivitas enzim GAD yang berfungsi sebagai katalis dalam konversi L-glutamat menjadi GABA melalui jalur *GABA shunt* (Zhang *et al.*, 2014).

Konsumsi beras utuh, termasuk beras berkecambah juga dikaitkan dengan efek antidiabetes. Senyawa bioaktif dalam beras menjadikannya tidak hanya sebagai pangan pokok, tetapi juga sebagai pangan fungsional. Konsumsi beras utuh dapat memberikan manfaat kesehatan yang lebih besar dibanding beras putih karena tingginya kandungan polifenol dan kapasitas antioksidan. Hal ini mendukung peran beras sebagai bagian dari pola makan sehat untuk pencegahan penyakit kronis berbasis diet (Ciulu *et al.*, 2018). Ringkasan penelitian mengenai perubahan sifat antioksidan dan senyawa bioaktif akibat perkecambahan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan senyawa bioaktif setelah perkecambahan pada berbagai varietas padi

Varietas	Proses perkecambahan	Senyawa bioaktif	Referensi
Xianhui 207, Heinuo	Direndam dalam air selama 12 jam pada 30°C, lalu dikecambahkan dengan kelembapan selama 72 jam pada 28°C.	GABA meningkat (0,35 menjadi 2,1 mg/g).	Ding <i>et al.</i> (2016)
KDML105, Riceberry	Direndam dalam air suling selama 1 jam lalu dikecambahkan 144 jam pada 30°C dalam kondisi gelap.	GABA meningkat (16,43 menjadi 50,4 mg/100 g), Protein meningkat (7,92 menjadi 7,99%).	Kamijjam <i>et al.</i> (2020)
Daohuaxiang	Direndam dalam larutan hidrogen peroksida dengan rasio 1:2 selama 3 jam pada suhu 36°C.	Aktivitas antioksidan (DPPH) meningkat (3,75 menjadi 6,54 mg TE/ml) dan antioksidan (ABTS) meningkat (18,58 menjadi 28,73 mg AE/g).	Xia <i>et al.</i> (2017)
Ilpumbyeo	Direndam dalam air suling selama 1 hari pada 20°C lalu dikecambahkan 1 hari pada 37°C dengan kelembapan relatif 80%.	Vitamin E meningkat (0,8 menjadi 1,1 mg/100 g).	Kim <i>et al.</i> (2017)
Beras hitam Thailand Kum Payao	Perendaman dilakukan selama 12 jam pada pH 7, kemudian dikecambahkan selama 36 jam.	Kondisi optimum untuk memperoleh kandungan GABA tertinggi 0,202 mg/g.	Chaiyasut <i>et al.</i> (2017)

Senyawa fenolik beras sebagian besar terletak pada bagian perikarp dan lapisan aleuron beras, bagian ini merupakan bagian yang mudah larut sehingga perlakuan perendaman kemungkinan dapat melarutkan senyawa fenolik yang terdapat pada bagian tersebut dan mengakibatkan penurunan kandungan fenol total pada beras setelah perlakuan perendaman (Ekowati dan Purwestri, 2016). Sekresi GABA juga semakin meningkat ketika biji beras mengalami kondisi stres selama perkecambahan, misalnya karena kekurangan oksigen, kenaikan suhu, kegelapan, dan kondisi asam (Zhang *et al.*, 2014).



Peningkatan senyawa fenolik juga dipengaruhi oleh pemecahan pati menjadi gula sederhana oleh enzim amilase. Gula tersebut kemudian masuk ke berbagai jalur metabolisme, seperti glikolisis, siklus krebs, jalur tanin, dan jalur pentosa fosfat. Flavonoid termasuk dalam kelompok senyawa fenolik terbesar yang berasal dari turunan benzopiron. Senyawa ini tersusun atas dua cincin aromatis yang terhubung melalui tiga atom karbon membentuk cincin heterosiklik beroksigen sehingga memberikan kemampuan antioksidan yang tinggi. Berdasarkan perbedaan pola substitusi, flavonoid diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yakni antosianin, flavon, isoflavon, flavonol, flavanon, serta flavanol. (Widyawati *et al.*, 2014). Selain fenolik, beras pecah kulit juga mengandung berbagai senyawa lain yang berkontribusi penting bagi kesehatan. Beberapa di antaranya meliputi flavonoid, antosianin, vitamin, asam amino, fitosterol, γ -oryzanol, serta komponen bioaktif lainnya (Munarko *et al.*, 2019).

Perlakuan Stres dengan Kalsium

Pemberian kalsium (Ca^{2+}) secara eksogen dapat membantu mengurangi dampak stres garam (Rahman *et al.*, 2016). Efek positif Ca^{2+} dalam mengurangi stres ini terkait dengan berbagai mekanisme pertahanan. Kalsium (Ca^{2+}) merupakan unsur penting yang menjaga integritas struktural dan fungsional membran, menstabilkan dinding sel, serta mengatur keseimbangan ion (Morgan *et al.*, 2014). Konsentrasi garam yang tinggi menyebabkan pertumbuhan akar terhambat dan mengurangi kemampuan akar untuk menyerap air (*osmotic stress*). Hal ini juga mengganggu aliran ion menuju batang dan daun serta memicu penutupan stomata (Yang dan Guo, 2018; Reddy *et al.*, 2017).

Perlakuan perkecambahan menggunakan 200 mM kalsium klorida (CaCl_2), kadar flavonoid dalam beras merah berkecambah tercatat 132% lebih tinggi dibandingkan dengan sampel kontrol tanpa perlakuan. Kalsium klorida (CaCl_2) berperan penting bagi tanaman dalam kondisi mengalami kerusakan. Pemberian kalsium klorida (CaCl_2) pada beras merah berkecambah dapat memperkaya senyawa bioaktif yang berfungsi melindungi sel otot C_2C_{12} dari kerusakan akibat stres oksidatif, melalui penurunan pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) sekaligus mendukung aktivitas *Glutathione* (GSH) sebagai antioksidan alami (Garg *et al.*, 2023).

Pemberian kalsium klorida (CaCl_2) membantu mengurangi kerusakan dan memicu proses perbaikan sel dengan mengendalikan aktivitas fisiologis, seperti peroksidasi lipid dan kerja enzim antioksidan ketika tanaman menghadapi stres abiotik (Anitha *et al.*, 2021). Kalsium klorida diketahui memiliki tingkat toksisitas yang sangat rendah dan memperoleh izin resmi dari Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia melalui Peraturan Nomor 24 Tahun 2013 mengenai Batas Maksimum Penggunaan BTP. Selain itu, kalsium klorida yang digunakan pada produk buah kalengan, baik tunggal maupun campuran sebagai bahan pengeras, aman dikonsumsi dan digolongkan sebagai *Generally Recognized As Safe* (GRAS) dengan batas maksimum pemakaian 350 g/kg (Nashita *et al.*, 2022).

Kalsium klorida merupakan senyawa garam yang tersusun atas unsur kalsium (Ca) dan klorin (Cl). Senyawa ini bersifat padat pada suhu kamar, higroskopis, mudah larut dalam air, tidak berwarna, tidak berbau,



serta tidak mudah terbakar. kalsium klorida (CaCl_2) harus disimpan dalam wadah tertutup rapat karena sifat higroskopisnya. Dalam pembuatan beras analog, CaCl_2 ditambahkan untuk mengikat alginat sehingga terbentuk gel. Proses pembentukan gel alginat dapat berlangsung berkat adanya ion kalsium yang bertindak sebagai agen pengikat (Caesarina dan Estiasih, 2016).

Kalsium (Ca^{2+}) terperangkap dalam gel yang terbentuk dan ada interaksi Ca^{2+} dengan molekul pati. Retensi Ca^{2+} yang tinggi dalam beras diasumsikan karena Ca^{2+} bertindak sebagai pengikat silang dan ditahan di dalam matriks pati yang tergelatinisasi oleh ikatan ionik-dipol. Tekstur nasi yang diperkaya kalsium lebih keras dibandingkan beras biasa. Hal ini menunjukkan bahwa pada proses pembuatan beras yang diperkaya kalsium, beras mengalami gelatinisasi dan menjadi keras setelah dikeringkan (Wariyah *et al.*, 2021).

Pemilihan kalsium laktat untuk tekanan lingkungan (keadaan stres) karena kelarutannya baik (66 gr/L^{-1} atau 9 gr Ca L^{-1}) dan memiliki rasa netral. Kadar kalsium yang tinggi cenderung menghasilkan sensasi rasa kapur di mulut dan dapat meningkatkan rasa sepat atau rasa pahit pada produk. Kalsium laktat dapat memberikan rasa pahit pada konsentrasi tinggi. Larutan kalsium laktat digunakan sebagai media perendaman pada beras. Beras yang diperkaya kalsium dibuat dari konsentrasi kalsium 30 dan 50 g L^{-1} . Hasil beras yang diperkaya kalsium memiliki kandungan kalsium berkisar antara 112,53 hingga $194,27 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ yang berarti bahwa peningkatan kadar kalsium tiga sampai lima kali lipat dari beras giling biasa (Sirisoontarak *et al.*, 2016). Kandungan kalsium beras berada pada kisaran 4,25 hingga $6,32 \text{ mg/100 g}$ beras poles (Reddy *et al.*, 2017).

Perlakuan Stres Osmotik (Kekurangan Air)

Perkecambahan merupakan tahap perkembangan yang sangat penting dan dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satunya adalah fitohormon Asam Giberelat (GA) yang berperan merangsang perkecambahan, dan Asam Absisat (ABA) yang berperan menghambat perkecambahan. Proses pembentukan asam giberelat (GA) melibatkan beberapa enzim katalis, di antaranya *Ent-Kaurene Acid Oxidase* (KAO), *GA 20-oxidase* (GA20ox), dan *GA 3-oxidase* (GA3ox), sedangkan ABA dibentuk oleh enzim *9-Cis Epoxycarotenoid Dioxygenase* (NCED) dan dapat diuraikan atau dihilangkan oleh enzim *Cytochrome P450 Monooxygenase* atau *ABA 8'-hydroxylase* (ABA8'OH) (Kawaguchi *et al.*, 2023).

Penelitian Kawaguchi *et al.* (2023), varietas Indica Rc348 (toleran kekeringan) dan Rc10 (peka terhadap kekeringan) dikecambahkan di bawah kondisi stres osmotik yang diinduksi oleh *polyethylene glycol* (PEG). Hasil penelitian Kawaguchi *et al.* (2023) bahwa varietas Rc348 memiliki laju perkecambahan dan indeks perkecambahan lebih tinggi pada kondisi stres osmotik dibandingkan varietas Rc10. Varietas Rc348, ditemukan adanya peningkatan biosintesis *Gibberellic Acid* (GA), penurunan katabolisme *Absciscic Acid* (ABA), serta peningkatan ekspresi gen α -amilase pada benih yang menyerap air di bawah perlakuan PEG dibandingkan Rc10 (Kawaguchi *et al.*, 2023).

Selama proses perkecambahan, *Reactive Oxygen Species* (ROS) berperan penting dalam mengatur keseimbangan antara asam giberelat (GA) dan asam absisat (ABA). Lapisan aleuron yang diberi asam giberelat



(GA) dari luar, ekspresi gen α -amilase lebih tinggi pada varietas Rc348 dibandingkan varietas Rc10. Selain itu, ekspresi gen NADPH oksidase juga meningkat disertai kadar ROS yang lebih tinggi pada Rc348, menunjukkan bahwa Rc348 memiliki sensitivitas asam giberelat (GA) yang lebih besar dalam merangsang produksi ROS dan pemecahan pati di sel aleurone. Toleransi varietas Rc348 terhadap stres osmotik disebabkan oleh peningkatan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS), biosintesis asam giberelat (GA), dan sensitivitas asam giberelat (GA). Hal ini menghasilkan laju perkecambahan yang lebih tinggi pada kondisi stres osmotik (Kawaguchi *et al.*, 2023).

Senyawa oksigen reaktif atau *Reactive Oxygen Species* (ROS) juga berperan sebagai sinyal dalam perkembangan dan respon stres melalui mekanisme yang disebut jendela oksidatif yaitu keseimbangan ROS yang mengatur proses perkecambahan. ROS yang dihasilkan oleh *Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate* (NADPH) oksidase saat benih menyerap air dapat meningkatkan produksi Asam Giberelat (GA) dan menekan Asam Absisat (ABA), sehingga mempercepat perkecambahan (Shi *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020).

Perlakuan Stres Hipoksia (Kekurangan Oksigen)

Perkecambahan dalam kondisi hipoksia biasanya lebih lambat karena energi yang dihasilkan sangat sedikit. Hal ini disebabkan terbatasnya oksigen sehingga reaksi pembentukan energi dan proses biosintesis di dalam biji ikut terhambat. Energi yang dihasilkan melalui fermentasi anaerob juga jauh lebih sedikit karena jalur pembentukan energi normal tidak bisa berjalan tanpa oksigen. Pertumbuhan koleoptil dalam kondisi rendah oksigen lebih banyak disebabkan oleh pembesaran sel, bukan pembelahan sel karena energi yang tersedia terbatas. Koleoptil dan mesokotil tumbuh cepat pada kondisi hipoksia, bahkan koleoptil dapat memanjang hingga 1 mm per jam. Pemanjangan ini merupakan strategi adaptasi padi untuk bertahan pada kondisi kekurangan oksigen (Kunwar *et al.*, 2024).

Beras dapat mengalami hipoksia selama proses perkecambahan. Aktivasi metabolisme dimulai dengan penyerapan air (imbibisi) dan rehidrasi yang memicu pertumbuhan kecambah, tetapi respirasi awal yang aktif segera menghabiskan oksigen yang ada di dalam benih. Lapisan biji (*seed coat*) bisa menjadi penghalang fisik bagi pertukaran gas sehingga suplai oksigen ke embrio terbatas (Gómez dan Pucciariello, 2022). Beras memiliki kemampuan unik pada fase perkecambahan yang tidak ditemukan pada sereal lain (gandum, *barley*, *oat*, *rye*) yaitu pemanjangan koleoptil di bawah kondisi tanpa oksigen. Koleoptil menembus permukaan air sehingga memungkinkan aliran oksigen masuk ke organ bawah air. Mekanisme ini didukung oleh aktivitas enzim α -amilase (RAMY3D) yang menghidrolisis pati menjadi gula terfermentasi, menyediakan energi melalui fermentasi etanol yang meski rendah hasilnya, cukup untuk menopang pertumbuhan awal (Pucciariello, 2020).

Penelitian Jayawardhane *et al.* (2021) menemukan bahwa beras (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*, cv. FR13A) mampu berkecambah lebih baik dibandingkan *barley* (*Hordeum vulgare* L. cv. Harrington) saat kekurangan oksigen. Radikula *barley* muncul lebih cepat (sekitar 15 jam setelah imbibisi) dan beras lebih lambat (24–48 jam), embrio beras tetap mampu menjaga cadangan energi lebih stabil. Aktivitas enzim *Alcohol Dehydrogenase* (ADH) pada



beras meningkat tajam sejak jam ke-9 dan terus naik hingga jam ke-48, artinya beras lebih efisien dalam menghasilkan energi lewat fermentasi meskipun tanpa oksigen. Aktivitas enzim *Superoxide Dismutase* (SOD) pada beras bahkan tercatat 5–10 kali lebih tinggi dibandingkan *barley*, diikuti enzim lain seperti *Ascorbate Peroxidase* (APX), *Monodehydroascorbate Reductase* (MDHAR), dan *Dehydroascorbate Reductase* (DHAR) yang juga lebih aktif. Dengan kondisi ini, beras mampu menekan zat berbahaya berupa *Reactive Oxygen Species* (ROS) sehingga sel tetap terlindungi, dan inilah yang membuat beras lebih tahan terhadap stres hipoksia saat perkecambahan (Jayawardhane *et al.*, 2021).

Potensi Beras Kecambah sebagai Ingredien Pangan Fungsional

Produk beras merah kecambah semakin populer di pasar Jepang karena kandungan GABA dan zat gizi lain lebih tinggi dibandingkan beras giling. Roti dengan campuran 30% beras merah biasa dan 30% beras merah kecambah mengandung masing-masing 8,60 mg/100 g dan 32,05 mg/100 g GABA (Cornejo *et al.*, 2015). Penggantian 30% tepung gandum dengan beras merah kecambah *puff* pada pembuatan roti terbukti mempertahankan kadar gula bebas (maltosa) dan GABA yang lebih tinggi daripada roti gandum biasa. Kue kering dengan tambahan 10% beras merah kecambah juga menunjukkan kandungan protein, lemak, dan abu lebih tinggi, sedangkan kue kontrol memiliki energi dan karbohidrat lebih besar (Mounika *et al.*, 2017).

Perkecambahan selain meningkatkan GABA juga mengaktifkan enzim seperti protease yang mampu meningkatkan pencernaan protein. Roti dari beras merah kecambah 12 jam memiliki pencernaan protein lebih tinggi, namun waktu perkecambahan yang lebih lama justru menurunkan pencernaan tersebut. Proses ini meningkatkan kadar albumin sekaligus menurunkan globulin dan gliadin sehingga ketersediaan protein lebih baik. Pada roti bebas gluten berbahan beras merah, perbedaan komposisi kimia tidak terlihat mencolok kecuali kadar abu yang lebih rendah pada beras rendaman, disebabkan mineral larut ke dalam air (Cornejo *et al.*, 2015).

Makanan tradisional Thailand bernama *Hang rice* dibuat melalui pengupasan, perendaman, dan pengukusan beras. *Hang rice* dari varietas ketan hitam dan ketan putih yang dikecambahkan memiliki kandungan fenolik total lebih tinggi dibandingkan beras merah non-ketan. Pada varietas beras merah non-ketan, kandungan fenolik justru lebih tinggi pada beras yang tidak dikecambahkan (Phattayakorn *et al.*, 2016). Uji aktivitas antioksidan dengan metode DPPH dan FRAP menunjukkan bahwa hampir semua *Hang rice* kecambah memiliki kapasitas antioksidan lebih tinggi dibandingkan yang tidak dikecambahkan, kecuali varietas beras merah non-ketan. Fakta ini membuktikan potensi beras merah kecambah sebagai ingredien pangan fungsional dalam berbagai produk, seperti mie, kue kering, roti, susu, dan teh (Chinma *et al.*, 2024). Berbagai produk pangan fungsional telah dikembangkan dengan memanfaatkan beras kecambah yang disajikan secara ringkas pada Tabel 2.



Tabel 2. Produk Pangan Fungsional Berbasis Beras Kecambah

Produk	Metode Perlakuan Stres	Hasil Penelitian	Referensi
Mie beras	Beras cokelat direndam selama 12 jam pada suhu 28 °C, kemudian dikecambahkan selama 18 jam.	Mie beras mengalami peningkatan nilai gizi yaitu serat pangan dari 3,56% menjadi 6,15%, GABA dari 33,63 mg/100 g menjadi 51,60 mg/100 g, dan asam fenolat dari 129,13 µg/g menjadi 157,16 µg/g.	Chen <i>et al.</i> (2024)
Snack bar	Perkecambahan selama 48 jam dengan penyiraman air setiap 12 jam, lalu dikeringkan pada suhu 50 °C.	Kadar air 14,90%, abu 2,64%, protein 14,16%, lemak 16,19%, serat kasar 6,71%, karbohidrat 52,10%.	Putri <i>et al.</i> (2022)
Kue Beras	Beras ketan hitam dikecambahkan 1 jam pada suhu ruang dan kondisi lembab, kemudian difermentasi dengan <i>Saccharomyces boulardii</i> (probiotik).	Kue beras hitam kecacambah yang difermentasi dengan probiotik <i>Saccharomyces boulardii</i> mengandung antioksidan (antosianin, flavonoid, GABA) dengan kadar tidak kurang dari 30%.	Cheirsilp <i>et al.</i> (2023)
Cupcake	Beras merah dikecambahkan 40 jam, dikeringkan, dan digiling menjadi tepung sebagai bahan utama pembuatan cupcake.	Kandungan GABA meningkat bertahan hingga 1,86 mg/100 g pada 40 jam perkecambahan, dan bertambah menjadi 3,66 mg/100 g setelah proses pemanggangan cupcake.	Müller <i>et al.</i> (2021)
Yoghurt	Beras cokelat dikecambahkan selama 96 jam (GBR96), kemudian difermentasi dengan kultur susu.	Kandungan fenolik sebesar 15,2 mg GAE/100 g, kandungan GABA sebesar 1 mg/100 g, aktivitas antioksidan sebesar 46 µg TE/100 g, serta kemampuan inhibisi AC mencapai 61,5%.	Cáceres <i>et al.</i> (2019)
Roti	Perkecambahan beras cokelat dalam kondisi aerobik dan anaerobik selama 2 dan 4 hari pada suhu kamar (sekitar 28–30°C), lalu dikeringkan, digiling menjadi tepung.	Perkecambahan secara aerobik menunjukkan hasil terbaik dengan peningkatan volume spesifik (4–10%), penurunan kekerasan (34–90%), serta penurunan retrogradasi pati (66–90%) dibanding kontrol.	Wunthunyarath <i>et al.</i> (2020)

Penelitian Terbaru Terkait Perlakuan Stres pada Beras

Tujuan utama dari pengembangan metode perkecambahan agar beras memiliki kandungan zat gizi yang lebih baik bagi konsumen (Phattayakorn *et al.*, 2016). Penelitian terbaru menunjukkan adanya peningkatan zat penting pada beras setelah melalui proses perkecambahan dan hasilnya telah dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Tren terbaru perlakuan stres pada beras

Tren terbaru	Metode	Hasil	Referensi
Ultrasound frekuensi rendah + stres CaCl_2	Perlakuan ultrasound frekuensi rendah (28 kHz, 30 W, 9 jam)	Kenaikan GABA 3,29 kali, asam piruvat 7,63 kali, gliserol 4,88 kali, glutamat 2,0 kali	Wu <i>et al.</i> (2023)



	dikombinasikan dengan stres CaCl_2 2,0% pada beras ketan coklat.	kali, dan glukosa 1,32 kali dibandingkan kontrol.	
Nanopartikel ZnO untuk stres salinitas	Benih padi genotipe Kargi dan CSR3 diberi perlakuan nanopartikel ZnO (4 mg/L) selama 8 hari pada kondisi stres garam.	Persentase perkecambahan meningkat dari 44–46% menjadi 56–58%. Peningkatan stabilitas klorofil sebesar 30–48% dan karotenoid 27–49%.	Singh <i>et al.</i> (2023)
Hidropriming	Benih beras direndam air pada 30°C selama 12 jam. Metode mempercepat perkecambahan awal tetapi tidak meningkatkan penyerapan air.	Analisis ekspresi gen menunjukkan bahwa pada benih kering, <i>OsTIP3;1</i> menyumbang 74% dari total ekspresi aquaporin sedangkan <i>OsPIP2;1</i> sebesar 18%.	Matsunami <i>et al.</i> (2022)
Slightly Acidic Electrolyzed Water (SAEW)	Perkecambahan beras coklat menggunakan SAEW pH 5,5 (ACC-1 ppm) pada 35 ± 1 °C, kelembapan 20–30%.	Kandungan GABA meningkat dari 1,8 mg/L menjadi 7,35 mg/L, atau sekitar tiga kali lipat setelah 48 jam perkecambahan.	Tyagi <i>et al.</i> (2022)
Radiasi Inframerah (IR)	Benih diberi sinar inframerah 10,8 kW.m ² selama 7 detik pada suhu 60°C.	Intensitas rendah (2,15 kW/m ²) dan sedang (2,83 kW/m ²) daya kecambah pertumbuhan akar, dan tunas masih relatif baik, tetapi pada intensitas tinggi (10,8 kW/m ²) daya kecambah turun.	Hampton <i>et al.</i> (2022)
Asam salisilat	Perlakuan dengan 0,1 mM Asam salisilat mengurangi hambatan aktivitas enzim amilase dan mempercepat perubahan pati menjadi gula.	Peningkatan laju perkecambahan Nipponbare sebesar 26,3%, serta menaikkan <i>germination potential</i> (G) hingga 19,8% dan <i>germination index</i> (GI) sebesar 28,3%.	Liu <i>et al.</i> (2022)
Ekstrak Ergothioneine (ESH) dari <i>Aspergillus oryzae</i>	Pemberian 4% ESH meningkatkan kadar GABA dan γ -oryzanol pada beras coklat berkecambah.	Kandungan GABA mencapai 2378,6 mg/kg dan γ -oryzanol sebesar 222 mg/kg, sedangkan kontrol awal (tanpa ESH C) hanya menghasilkan GABA sekitar 67,4 mg/kg dan γ -oryzanol 154,45 mg/kg.	Ha <i>et al.</i> (2022)

KESIMPULAN

Perlakuan stres pada beras kecambah efektif meningkatkan senyawa bioaktif. Metode perlakuan stres dengan penambahan Ekstrak Ergothioneine (ESH) dari *Aspergillus oryzae* 4% menunjukkan hasil terbaik dengan peningkatan kandungan GABA mencapai sebesar 2378,63 mg/kg, tetapi metode radiasi inframerah intensitas tinggi (10,84 kW/m²) merupakan metode yang kurang efektif karena menurunkan daya kecambah. Perlakuan stres saat perkecambahan menghasilkan peningkatan senyawa bioaktif sehingga beras kecambah berpotensi diolah menjadi berbagai produk pangan fungsional yang lebih bergizi, seperti roti, mie, *snack bar*, atau yoghurt.



DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, B., Yakasai, H. M., Zawawi, N., & Ismail, M. 2018. Compositional analyses of white, brown and germinated forms of popular Malaysian rice to offer insight into the growing diet-related diseases. *Journal Of Food And Drug Analysis*, 26(2), 706-715.
- Al-Hazmi, N. E., & Naguib, D. M. 2022. Amylase properties and its metal tolerance during rice germination improved by priming with rhizobacteria. *Rhizosphere*, 22: 100518.
- Anitha, S., Givens, D. I., Botha, R., Kane-Potaka, J., Sulaiman, N. L. B., Tsusaka, T. W., & Bhandari, R. K. 2021. Calcium from finger millet—a systematic review and meta-analysis on calcium retention, bone resorption, and in vitro bioavailability. *Sustainability*, 13(16): 8677.
- Cáceres, P. J., Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. 2017. Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying. *Journal of Cereal Science*, 73: 1–9.
- Cáceres, P. J., Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C., García-Mora, P., & Frías, J. 2019. Development of a multifunctional yogurt-like product from germinated brown rice. *LWT*, 99: 306–312.
- Caesarina, I., & Estiasih, T. 2016. Beras Analog Dari Garut (*Maranta arundinaceae*): A Review. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 4(2): 498-504.
- Chaiyasut, C., Sivamaruthi, B. S., Pengkumsri, N., Saelee, M., Kesika, P., Sirilun, S., & Peerajan, S. 2017. Optimization of conditions to achieve high content of gamma amino butyric acid in germinated black rice, and changes in bioactivities. *Food Science and Technology*, 37(suppl 1): 83-93.
- Cheirsilp, B., Mekpan, W., Sae-ear, N., Billateh, A., & Boukaew, S. 2023. Enhancing functional properties of fermented rice cake by using germinated black glutinous rice, probiotic yeast, and enzyme technology. *Food and Bioprocess Technology*, 16(5): 1116–1127.
- Chen, R., Yan, X., Cai, M., Cai, J., Dai, T., Liu, Y., & Wu, J. 2024. Impact of germination on the edible quality and nutritional properties of brown rice noodles. *Foods*, 13(13): 2152.
- Chinma, C. E., Adedeji, O. E., Jolayemi, O. S., Ezeocha, V. C., Ilowefah, M. A., Rosell, C. M., & Adebo, O. A. 2024. Impact of germination on the techno-functional properties, nutritional composition, and health-promoting compounds of brown rice and its products: A review. *Journal of food science*, 89(1): 8-32.
- Cho, D. H., & Lim, S. T. 2016. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chemistry*, 196 : 259–271.
- Ciulu, M., Cádiz-Gurrea, M. D. L. L., & Segura-Carretero, A. 2018. Extraction and analysis of phenolic compounds in rice: a review. *Molecules*, 23(11): 2890.
- Cornejo, F., & Rosell, C. M. 2015. Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality. *Journal of food science and technology*, 52(10): 6591-6598.
- Ding, J., Yang, T., Feng, H., Dong, M., Slavin, M., Xiong, S., & Zhao, S. 2016. Enhancing contents of γ -aminobutyric acid (GABA) and other micronutrients in dehulled rice during germination under normoxic and hypoxic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5): 1094–1102.
- Ekowati, N. Y., & Purwestri, Y. A. 2016. Analisis kandungan gamma aminobutyric acid (GABA), fenol total dan aktivitas antioksidan “beras kecambah” kultivar lokal (*Oryza sativa* L.) di Yogyakarta. *Agicola*, 6(2): 117-27.
- Garg, B., Yashveer, S., Singh, M., & Duhan, J. 2023. Brown Rice Sprouts: A Leading Functional Food Product. In *Advances in Plant Sprouts: Phytochemistry and Biofunctionalities* : 99-125. Cham: Springer International Publishing.



- Golzarand, M., Toolabi, K., Eskandari Delfan, S., & Mirmiran, P. 2022. The effect of brown rice compared to white rice on adiposity indices, lipid profile, and glycemic markers: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(27): 7395–7412.
- Gómez-Álvarez, E. M., & Pucciariello, C. 2022. Cereal germination under low oxygen: molecular processes. *Plants*, 11(3): 460.
- Gong, E. S., Luo, S. J., Li, T., Liu, C. M., Zhang, G. W., Chen, J., & Liu, R. H. 2017. Phytochemical profiles and antioxidant activity of brown rice varieties. *Food chemistry*, 227: 432-443.
- Ha, N. C., Thao, D. L. P., & Ngoc, N. T. L. 2022. Ergothioneine extract from *Aspergillus oryzae* prevents lipid oxidation and increases bioactive compounds during the processing of germinated brown rice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16211.
- Hampton, R. M., Atungulu, G., Rolland, V., Wilson, S. A., & McKay, T. (2022). Effects of infrared radiation on germination of long grain rice. *Applied Engineering in Agriculture*, 38(1): 129-133.
- Hao, J., Zhu, H., Zhang, Z., Yang, S., Li, H., & Li, P. 2019. Germinated brown rice improves abnormal glucose metabolism and prevents oxidative stress in high-fat-fed mice with type 2 diabetes. *Nutrients*, 11(2), 285.
- Hou, D., Tang, J., Feng, Q., Niu, Z., Shen, Q., Wang, L., & Zhou, S. 2024. Gamma-aminobutyric acid (GABA): A comprehensive review of dietary sources, enrichment technologies, processing effects, health benefits, and its applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 64(24): 8852-8874.
- Indriarsih, S., Astuti, M., & Kanoni, S. 2017. Fatty acid composition and physiochemical properties in germinated black rice. *Indonesian Food and Nutrition Progress*, 14(1): 29-36.
- Jayawardhane, J., Wijesinghe, M. P. S., Bykova, N. V., & Igamberdiev, A. U. 2021. Metabolic changes in seed embryos of hypoxia-tolerant rice and hypoxia-sensitive barley at the onset of germination. *Plants*, 10(11): 2456.
- Kamjijam, B., Bednarz, H., Suwannaporn, P., Jom, K. N., & Niehaus, K. 2020. Localization of amino acids in germinated rice grain: Gamma-aminobutyric acid and essential amino acids production approach. *Journal of Cereal Science*, 93, 102958.
- Kawaguchi, R., Suriyasak, C., Matsumoto, R., Sawada, Y., Sakai, Y., Hamaoka, N., & Ishibashi, Y. 2023. Regulation of reactive oxygen species and phytohormones in osmotic stress tolerance during seed germination in indica rice. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1186960.
- Khwanchai, P., Chinprahast, N., Pichyangkura, R., & Chaiwanichsiri, S. 2014. Gamma-aminobutyric acid and glutamic acid contents, and the GAD activity in germinated brown rice (*Oryza sativa* L.): Effect of rice cultivars. *Food Science and Biotechnology*, 23(2): 373-379.
- Kim M.Y., Lee S.H., Jang G.Y., Li M., Lee Y.R., Lee J., & Jeong H.S. 2017. Changes of phenolic-acids and vitamin E profiles on germinated rough rice (*Oryza sativa* L.) treated by high hydrostatic pressure. *Food Chemistry*, 217(2): 106–111.
- Kunwar, U. B., Wen, J., Subedi, R., Bist, N. S., & Pandit, N. R. 2024. Adaptations of Rice Seed Germination to Drought and Hypoxic Conditions: Molecular and Physiological Insights. *Seeds*, 3(4): 656-676.
- Limtrakul, P., Yodkeeree, S., Pitchakarn, P., & Punfa, W. 2016. Anti-inflammatory effects of proanthocyanidin-rich red rice extract via suppression of MAPK, AP-1 and NF- κ B pathways in Raw 264.7 macrophages. *Nutrition Research and Practice*, 10(3): 251-258.
- Liu, Z., Ma, C., Hou, L., Wu, X., Wang, D., Zhang, L., & Liu, P. 2022. Exogenous SA affects rice seed germination under salt stress by regulating Na⁺/K⁺ balance and endogenous GAs and ABA homeostasis. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6): 3293.



- Matsunami, M., Hayashi, H., Murai-Hatano, M., & Ishikawa-Sakurai, J. 2022. Effect of hydropriming on germination and aquaporin gene expression in rice. *Plant Growth Regulation*, 97(2): 263-270.
- Morgan, S. H., Maity, P. J., Geilfus, C. M., Lindberg, S., & Mühling, K. H. 2014. Leaf ion homeostasis and plasma membrane H⁺-ATPase activity in *Vicia faba* change after extra calcium and potassium supply under salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 82: 244-253.
- Mounika, B., Suchiritha, D. S., Uma, M. K., Hemalatha, V., & Supraja, T. 2017. Physical, proximate and nutritional composition of cookies incorporated with germinated brown rice. *The Pharma Innovation*, 6(7): 958.
- Müller, C. P., Hoffmann, J. F., Ferreira, C. D., Diehl, G. W., Rossi, R. C., & Ziegler, V. 2021. Effect of germination on nutritional and bioactive properties of red rice grains and its application in cupcake production. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100379.
- Munarko, H., Sitanggang, A. B., Kusnandar, F., & Budijanto, S. 2019. Kecambah beras pecah kulit: Proses produksi dan karakteristiknya. *Jurnal Pangan*, 28(3): 239-252.
- Nashita, N. Y., Sumardianto, S., & Fahmi, A. S. 2022. Pengaruh Penambahan Kalsium Klorida (CaCl₂) terhadap Karakteristik dan Tingkat Rehidrasi Pempek Kering. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 6(1):1-9.
- Nile, S. H., Thiruvengadam, M., Wang, Y., Samynathan, R., Shariati, M. A., Rebezov, M., & Kai, G. 2022. Nano-priming as emerging seed priming technology for sustainable agriculture—recent developments and future perspectives. *Journal of nanobiotechnology*, 20(1): 254.
- Oketch-Rabah, H. A., Madden, E. F., Roe, A. L., & Betz, J. M. 2021. United States Pharmacopeia (USP) safety review of gamma-aminobutyric acid (GABA). *Nutrients*, 13(8): 2742.
- Phattayakorn, K., Pajanyor, P., Wongtecha, S., Prommakool, A., & Saveboworn, W. 2016. Effect of germination on total phenolic content and antioxidant properties of Hang'rice. *International Food Research Journal*, 23(1): 406.
- Pucciariello, C. 2020. Molecular mechanisms supporting rice germination and coleoptile elongation under low oxygen. *Plants*, 9(8): 1037.
- Putri, E. N., Wisaniyasa, N. W., & Puspawati, A. A. K. D. 2022. Pengaruh perbandingan tepung kecambah kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.) dan tepung beras merah (*Oryza nivara* L.) terhadap karakteristik snack bar. *Itepa: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 11(1): 165-176.
- Rahman, A., Mostofa, M. G., Nahar, K., Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. 2016. Exogenous calcium alleviates cadmium-induced oxidative stress in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by regulating the antioxidant defense and glyoxalase systems: Calcium-induced cadmium stress tolerance in rice. *Brazilian Journal of Botany*, 39(2): 393-407.
- Reddy, I. N. B. L., Kim, B. K., Yoon, I. S., Kim, K. H., & Kwon, T. R. 2017. Salt tolerance in rice: focus on mechanisms and approaches. *Rice Science*, 24(3): 123-144.
- Shao, Y., & Bao, J. 2015. Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits. *Food Chemistry*, 180: 86-97.
- Shi, Y., Chang, Y. L., Wu, H. T., Shalmani, A., Liu, W. T., Li, W. Q., & Chen, K. M. 2020. OsRbohB-mediated ROS production plays a crucial role in drought stress tolerance of rice. *Plant Cell Reports*, 39(12): 1767-1784.
- Singh, A., Sengar, R. S., Rajput, V. D., Agrawal, S., Ghazaryan, K., Minkina, T., & Habeeb, T. 2023. Impact of zinc oxide nanoparticles on seed germination characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Journal of Ecological Engineering*, 24(10): 142-156.



- Sirisoontarak, P., Limboon, P., Jatuwong, S., & Chavanalikit, A. 2016. Effects of soaking and acidification on physicochemical properties of calcium-fortified rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(8): 2796-2804.
- Tyagi, A., Chen, X., Shabbir, U., Chelliah, R., & Oh, D. H. 2022. Effect of slightly acidic electrolyzed water on amino acid and phenolic profiling of germinated brown rice sprouts and their antioxidant potential. *Lwt*, 157: 113119.
- Wariyah, C., Anwar, C., & Astuti, M. 2021. Calcium fixation on fortified rice made with various rice varieties. *Food Research (Malaysia)*.
- Widyawati, P. S., Suteja, A. M., Suseno, T. I. P., Monica, P., Saputrajaya, W., & Liguori, C. 2014. Pengaruh perbedaan warna pigmen beras organik terhadap aktivitas antioksidan. *Agritech*, 34(4): 399-406.
- Wu, J., Zhang, N., Liu, Z., Liu, S., Liu, C., Lin, J., & Yukawa, Y. 2020. The AtGSTU7 gene influences glutathione-dependent seed germination under ABA and osmotic stress in *Arabidopsis*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 528(3): 538-544.
- Wu, Y., He, S., Pan, T., Miao, X., Xiang, J., Ye, Y., & Sun, H. 2023. Enhancement of γ -aminobutyric acid and relevant metabolites in brown glutinous rice (*Oryza sativa* L.) through salt stress and low-frequency ultrasound treatments at pre-germination stage. *Food chemistry*, 410: 135362.
- Wunthunarat, W., Seo, H. S., & Wang, Y. J. (2020). Effects of germination conditions on enzyme activities and starch hydrolysis of long-grain brown rice in relation to flour properties and bread qualities. *Journal of Food Science*, 85(2), 349–357.
- Xia Q., Wang L., Xu C., Mei J., & Li Y. 2017. Effects of germination and high hydrostatic pressure processing on mineral elements, amino acids and antioxidants in vitro bioaccessibility, as well as starch digestibility in brown rice (*Oryza sativa* L.). *Food Chemistry*, 214(1): 533–542.
- Yang, Y., & Guo, Y. 2018. Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt-stress responses. *New phytologist*, 217(2), 523-539.
- Yodpitak, S., Mahatheeranont, S., Boonyawan, D., Sookwong, P., Roytrakul, S., & Norkaew, O. 2019. Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice. *Food chemistry*, 289: 328-339.
- Yu, Y., Deng, L., Zhou, L., Chen, G., & Wang, Y. 2022. Exogenous melatonin activates antioxidant systems to increase the ability of rice seeds to germinate under high temperature conditions. *Plants*, 11(7): 886.
- Yu, Y., Li, M., Li, C., Niu, M., Dong, H., Zhao, S., & Xu, Y. 2023. Accelerated accumulation of γ -aminobutyric acid and modifications on its metabolic pathways in black rice grains by germination under cold stress. *Foods*, 12(6): 1290.
- Zhang, Q., Xiang, J., Zhang, L., Zhu, X., Evers, J., van der Werf, W., & Duan, L. 2014. Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice. *Journal Of Functional Foods*, 10: 283-291.
- Zhou, J., Zhu, Y. F., Chen, X. Y., Han, B., Li, F., Chen, J. Y., & Yu, X. P. 2017. Black rice-derived anthocyanins inhibit HER-2-positive breast cancer epithelial-mesenchymal transition-mediated metastasis in vitro by suppressing FAK signaling. *International Journal of Molecular Medicine*, 40(6): 1649-1656.