

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pasar global untuk produk pangan fungsional, termasuk produk yang diperkaya senyawa *Gamma-Aminobutyric Acid* (GABA) menunjukkan tren peningkatan yang signifikan pada tahun 2017-2023 dengan CAGR sebesar 7,8% yang didominasi oleh pasar Amerika Utara dan Asia-Pasifik (Diez-Gutiérrez *et al.*, 2020). GABA secara alami terdapat pada berbagai pangan nabati seperti beras pecah kulit, *barley*, kacang-kacangan, dan jagung, meskipun umumnya dalam kadar yang relatif rendah (Poojary *et al.*, 2017). Produk pangan yang diperkaya senyawa GABA disinyalir mampu memberikan berbagai efek fungsional bagi kesehatan, antara lain berperan sebagai neurotransmitter inhibitor pada sistem saraf yang mampu memberikan efek sedatif-hipnotik, memperkuat memori atau daya ingat, serta memiliki efek antiepilepsi hingga antidepresan (Zhu *et al.*, 2024a). Oleh karena itu, pengembangan pangan berbasis GABA menjadi salah satu fokus dalam pengembangan pangan fungsional yang berkelanjutan.

Beras merupakan komoditas sereal utama yang dikonsumsi oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia (2025), produksi beras untuk konsumsi pangan penduduk Indonesia mencapai 30,62 juta ton pada tahun 2024 dengan konsumsi pangan beras/kapita sebesar 79,077 kg untuk tahun 2024 (Pusdatin Kementan, 2025). Jenis beras yang dikonsumsi umumnya adalah beras non pigmen (beras putih) dan beras berpigmen, seperti beras merah, beras hitam, dan beras ungu. Beras merah dinilai lebih unggul dibanding beras putih biasa karena kandungan senyawa bioaktif yang lebih tinggi, terutama senyawa fenolik seperti antosianin pada lapisan aleurone, flavonoid, dan aktivitas antioksidan lebih yang besar (Fitriyah *et al.*, 2022; Tsou *et al.*, 2024) sehingga berpotensi dikembangkan sebagai pangan fungsional yang memberikan manfaat fisiologis bagi kesehatan (Abdullah, 2017). Namun, secara organoleptik nasi dari beras merah memiliki tekstur yang cenderung keras dan memerlukan waktu pemasakan yang relatif lebih lama dibandingkan beras putih, sehingga kurang disukai oleh konsumen (Maharani *et al.*, 2020; Akbar dan Ansharullah, 2024).

Perkecambahan telah banyak dilaporkan sebagai metode yang sederhana, ramah lingkungan, dan efektif untuk memperbaiki karakteristik sensori serta meningkatkan nilai nutrisi dan fungsional sereal, termasuk peningkatan asam fenolik, flavonoid, vitamin, asam amino bebas, dan kapasitas antioksidan (Gunathunga *et al.*, 2024; Xu *et al.*, 2020). Salah satu manfaat utama perkecambahan adalah meningkatkan akumulasi GABA pada bahan pangan nabati, di mana kandungan GABA pada beras pecah kulit dilaporkan meningkat signifikan dari 36,8 menjadi 169,2 mg/100 g setelah perkecambahan (Sitanggang *et al.*, 2021; Vann *et al.*, 2020). Selain perendaman penuh, teknologi perkecambahan parsial melalui kombinasi perendaman dan inkubasi dalam lingkungan atmosfer terkontrol berpotensi diterapkan karena mampu menurunkan kekerasan beras serta meningkatkan kelengketan dan daya rekat nasi (Munarko *et al.*, 2021; Kaewsorn *et al.*, 2023). Dalam mencegah pertumbuhan radikula berlebihan yang dapat menurunkan penerimaan konsumen, perkecambahan parsial dibatasi hingga fase II sebelum fase III, ditandai dengan pembentukan radikula $\pm 0,5\text{--}1$ mm dan aktivasi metabolisme yang intensif (Garg *et al.*, 2023).

Secara fisiologis, akumulasi GABA dipengaruhi oleh berbagai stres biotik dan abiotik, termasuk cekaman garam, suhu, kekeringan, anoksia, dan rangsangan mekanik (Poojary *et al.*, 2017). Kalsium klorida (CaCl_2) merupakan sumber stres garam dengan toksisitas relatif rendah yang pada konsentrasi rendah (>1 mmol/L) mampu meningkatkan kandungan GABA dan aktivitas *glutamate decarboxylase* (GAD) (Elbaloula & Hassan, 2022). Ca^{2+} di sitosolik berperan sebagai sinyal sekunder yang berikatan dengan kalmodulin (CaM) dan mengaktifasi GAD untuk mengkatalisis konversi glutamat menjadi GABA dan jalur *downstream* lainnya, termasuk aktivasi jalur fenilpropanoid (Akama *et al.*, 2020; Elbaloula dan Hassan, 2022; Li *et al.*, 2022b). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa kandungan GABA pada beras pecah kulit yang diinduksi stres kalsium meningkat signifikan setelah 36 jam perkecambahan (Zhu *et al.*, 2024b).

Respons metabolik selama perkecambahan juga dapat dipengaruhi oleh pola dan konsentrasi pemberian stres kalsium. Wang *et al.* (2016) melaporkan bahwa kombinasi perendaman dan penyemprotan dengan CaCl_2 secara berkala mendukung akumulasi GABA, di mana CaCl_2 konsentrasi rendah (6 mM) meningkatkan GABA diikuti dengan pertumbuhan tunas lebih panjang, sedangkan pada konsentrasi tinggi (200 mM) meningkatkan senyawa bioaktif dengan

pertumbuhan tunas yang lebih terbatas (Kheloufi *et al.*, 2016; Tosheva *et al.*, 2024). Perlakuan CaCl_2 200 mM juga dilaporkan mampu meningkatkan kandungan flavonoid hingga 132% pada beras pecah kulit berkecambah (Garg *et al.*, 2023). Sementara pemberian stres kalsium pada pertengahan perkecambahan (setelah perendaman) menunjukkan peningkatan GABA yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan stress awal (Wang *et al.*, 2016). Hingga saat ini, kajian yang secara spesifik membahas aplikasi stres kalsium dengan pola pemberian bertahap selama perkecambahan belum tersedia.

Pendekatan metabolomik tak bertarget (*untargeted*) berpotensi digunakan untuk mengeksplorasi perubahan profil metabolit secara komprehensif (Ji *et al.*, 2023), terutamanya pada kecambah beras merah akibat perbedaan pola pemberian stres kalsium. Studi metabolomik pada perkecambahan beras berpigmen dengan stres masih terbatas, namun Ding *et al.* (2018) melaporkan bahwa perlakuan stres ultrasonik pada kecambah beras merah mampu mengidentifikasi 73 metabolit dengan peningkatan signifikan pada GABA dan metabolit terkait. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi pengaruh pola pemberian stres kalsium selama perkecambahan parsial beras merah terhadap akumulasi GABA, senyawa fitokimia, aktivitas antioksidan, serta perubahan profil metabolit menggunakan pendekatan metabolomik *untargeted*.

B. Tujuan Penelitian

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kandungan GABA dan senyawa fitokimia pada kecambah beras merah. Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh pola pemberian kalsium klorida (CaCl_2) terhadap akumulasi *Gamma-Aminobutyric Acid* (GABA) dan senyawa fitokimia pada beras merah.
2. Menentukan lama perkecambahan yang optimal dalam meningkatkan sintesis *Gamma-Aminobutyric Acid* (GABA) dan senyawa fitokimia pada beras merah.
3. Mengidentifikasi profil metabolit kecambah beras merah terbaik hasil aplikasi stres kalsium klorida (CaCl_2) berdasarkan parameter GABA dan senyawa fitokimia menggunakan pendekatan metabolomik *untargeted*.

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi peneliti dan pengembang produk melalui evaluasi aplikasi stres kalsium klorida dengan pola pemberian yang berbeda selama perkecambahan. Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai kombinasi perlakuan stres kalsium klorida dan lama germinasi yang optimal untuk meningkatkan akumulasi GABA serta senyawa bioaktif lainnya pada beras merah. Selain itu, penelitian ini juga memberikan informasi eksploratif mengenai profil metabolit kecambah beras merah yang teridentifikasi sebagai respon terhadap perlakuan stres kalsium.