

PENGARUH LAMA PERKECAMBAHAN TERHADAP MUTU TEPUNG KECAMBAH KACANG TUNGGAK (*VIGNA UNGUICULATA* (L.))

*[The Effect of Sprouting Duration on The Quality of Germination Cowpea Flour (*Vigna Unguiculata* (L.))]*

**Ali Topan¹, Hayyu Pramesti Khan¹, Rahmawati Rahmawati¹, Muhammad Fajri Romadhan¹,
Hamidatun Hamidatun¹✉**

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Sahid, Jakarta

ABSTRACT

*Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is a local legume from East Nusa Tenggara (NTT) Province that contains various nutrients and bioactive compounds, such as polyphenols, Gamma-Aminobutyric Acid (GABA), and antioxidants. The germination process is one way to increase nutrients and bioactive compounds in legumes. This study aims to analyze the duration of germination on the quality of cowpea sprout flour. This research employed an experimental method, with germination time as the variable, consisting of five levels: 0, 12, 24, 36, and 48 hours, and was replicated three times. The analysis conducted included physical tests, proximate analysis, GABA content, polyphenol total, and antioxidant IC₅₀ activity. The best germination time is achieved with 24-hour germination treatment, resulting in the highest quality cowpea sprout flour after 24 hours, with sprout length of 23,41 mm, 100% growth percentage, 9,61% moisture content, 4,38% ash content (db), 1,02% fat content (db), 28,66% protein content (db), 56,35% carbohydrate content (db), GABA content of 106,09 mg/100 g, antioxidant activity IC₅₀ of 18,96 mg/ml, and total polyphenols of 17,09 mg GAE/100 g. These results indicate an increase in bioactive compounds in cowpea due to the germination process, and have the potential to be a functional food ingredient. Therefore, the researchers hope that these findings can serve as a basis for developing food products with higher value.*

Keywords: Bioactive compounds, cowpea, gamma-aminobutyric acid

ABSTRAK

Kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.)) merupakan kacang lokal dari provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang memiliki berbagai kandungan zat gizi dan senyawa bioaktif seperti polifenol, Asam Gamma-Aminobutirat (GABA), dan antioksidan. Proses perkecambahan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan zat gizi dan senyawa bioaktif pada kacang-kacangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lama perkecambahan terhadap mutu tepung kecambah kacang tunggak. Metode penelitian yang digunakan yaitu eksperimental dengan variabel waktu perkecambahan yang terdiri dari 5 taraf yaitu 0, 12, 24, 36 dan 48 jam dengan 3 kali ulangan. Analisis yang dilakukan meliputi uji fisik, uji proksimat, kandungan GABA, total polifenol, dan aktivitas antioksidan IC₅₀ menggunakan metode 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu perkecambahan mempengaruhi mutu tepung kacang tunggak yang dihasilkan. Waktu perkecambahan mampu meningkatkan kandungan senyawa bioaktif seperti kandungan GABA, total polifenol, dan aktivitas antioksidan IC₅₀. Waktu perkecambahan terbaik dihasilkan pada perlakuan perkecambahan 24 jam dengan hasil mutu tepung kecambah kacang tunggak selama 24 jam memiliki panjang kecambah 23,41 mm, persentase pertumbuhan 100%, kadar air 9,61 %, kadar abu 4,38 %bk, kadar lemak 1,02 %bk, kadar protein 28,66 %bk, kadar karbohidrat 56,35 %bk, kandungan GABA 106,09 mg/100 g, aktivitas antioksidan IC₅₀ 18,96 mg/ml dan total polifenol 17,09 mg GAE/100 g. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan senyawa bioaktif pada kacang tunggak akibat proses perkecambahan dan berpotensi sebagai bahan pangan fungsional. Oleh karena itu, peneliti berharap temuan ini dapat menjadi dasar pengembangan produk pangan dengan nilai yang lebih tinggi.

Kata Kunci: Gamma-aminobutyric acid, kacang tunggak, senyawa bioaktif

✉ Corresponding Author:

Hamidatun
Universitas Sahid Jakarta
Email: hamidatun@usahid.ac.id

*This is an open access article
under the CC BY-SA license:*



PENDAHULUAN

Indonesia dengan kekayaan sumber daya alamnya, memiliki berbagai jenis kacang-kacangan lokal yang berpotensi meningkatkan kandungan gizi dalam pola makan masyarakat (Ekafitri & Isworo, 2014). Kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.)) merupakan salah satu kacang lokal yang memiliki produktivitas cukup tinggi di Indonesia, dengan ketersediaan yang melimpah, terutama di wilayah Pulau Timor-Nusa Tenggara Timur (Naisali & Wulan, 2020). Menurut Kementerian Pertanian (2019), produksi kacang tunggak mencapai 494.506 ton pada tahun 2012 dan diduga terus meningkat hingga 826.351 ton pada tahun 2020.

Kacang tunggak memiliki berbagai kandungan gizi, seperti kadar lemak yang rendah (1%), kadar protein yang cukup tinggi (23-32%), serta senyawa fenolik (Ariviani *et al.*, 2020). Salah satu keunggulan kacang tunggak adalah aktivitas antioksidan IC_{50} yang kuat sebesar 1,70 mg/mL (Olabanji *et al.*, 2018). Selain itu, kandungan polifenol pada kacang tunggak mencapai 43,94 mg GAE/100 g, lebih tinggi dibandingkan polifenol pada kacang kedelai yang hanya 31,64 mg GAE/100 g (Josipovic *et al.*, 2016; Arinanti, 2018). Namun, kacang tunggak belum dimanfaatkan dengan maksimal, umumnya hanya digunakan sebagai campuran dalam sayuran sehingga potensi pengolahan pangannya belum optimal (Fransiska & Suryani, 2024).

Proses perkecambahan pada kacang tunggak merupakan metode biologis yang mudah dan efisien untuk meningkatkan kandungan gizi dan memproduksi senyawa bioaktif, termasuk *gamma-aminobutyric acid* (GABA). *Gamma-Aminobutyric Acid* (GABA) atau biasa disebut Asam gamma-aminobutirat merupakan asam amino non protein yang memiliki peran penting dalam menghambat neurotransmitter pada sistem saraf manusia. GABA berfungsi sebagai *neurotransmitter inhibitori* yang menekan aktivitas saraf berlebihan, menenangkan sistem saraf, serta mengurangi stres dan kecemasan (Hwang *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020). Proses perkecambahan meningkatkan daya cerna dan nilai gizi bahan pangan melalui aktivitas katabolisme yang mengaktifkan zat gizi dalam biji, sekaligus menghambat enzim antinutrisi, mengurangi oligosakarida penyebab flatulensi, serta meningkatkan kandungan vitamin B, E, C, K, dan karoten (Lorenza, 2023; Martianingsih *et al.*, 2016). Perkecambahan selama 24 jam diketahui meningkatkan kadar protein dari 26,41% menjadi 28,18% dan daya cerna protein dari 45,28% menjadi 48,45% (Elvira *et al.*, 2019). Proses ini mengaktifkan berbagai enzim, seperti amilase, protease, lipase dan *glutamic acid decarboxylase* (GAD). Enzim-enzim tersebut berperan dalam menguraikan molekul kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga meningkatkan daya cerna protein serta kandungan GABA, polifenol, dan aktivitas antioksidan (Munarko *et al.*, 2019; Sahab *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2019). GABA dihasilkan melalui dekarboksilasi asam glutamat oleh GAD melalui jalur GABA shunt, yang menghubungkan glutamat dengan GABA (Caceres *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2023). Selama perkecambahan GABA meningkat signifikan, seperti dilaporkan pada kacang arab (38,28 kali lipat selama 48 jam), kacang adzuki (25,72 kali lipat selama 144 jam), dan beras pecah kulit (11,5 kali lipat selama 72 jam) (Ferreira *et al.*, 2019; Munarko *et al.*, 2020). Senyawa bioaktif seperti polifenol dan GABA juga berfungsi sebagai antioksidan dengan kemampuan sebagai agen pereduksi dan donor atom hydrogen yang memberikan efek fisiologis seperti antiinflamasi, antihipertensi, antidiabetes, dan antikanker (Winantoro *et al.*, 2021; Teleanu *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2023; Lalopua, 2024). Penelitian menunjukkan bahwa kecambah kacang tunggak mengandung polifenol sebesar $763,42 \pm 1,66$ mg GAE/100 g, menegaskan manfaat perkecambahan dalam meningkatkan kandungan bioaktif (Sorour *et al.*, 2018).

Salah satu pengolahan produk yang dapat dilakukan pada kecambah kacang tunggak adalah mengolahnya menjadi tepung agar menjadi lebih fungsional dan memperpanjang umur simpan. Suhu dan lama pengeringan selama proses pembuatan tepung kecambah berperan penting dalam menentukan kualitas akhir produk, dalam hal ini aktivitas antioksidan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pengeringan dan menurunnya durasi pengeringan pada kecambah kacang kedelai (Astawan *et al.*, 2016). Hal ini terkait dengan oksidasi senyawa fenolik yang lebih besar pada suhu 50°C dibandingkan dengan suhu pengeringan yang lebih tinggi. Suhu optimum enzim polifenol oksidase

bervariasi antara 40°C hingga 53°C. Pengeringan pada suhu 50°C selama 6 jam menyebabkan hilangnya antioksidan fenolat yang lebih besar dibandingkan dengan suhu 70°C selama 4 jam 30 menit (Buzera et al., 2018). Selain itu, peningkatan aktivitas antioksidan seiring dengan peningkatan suhu pengeringan mungkin disebabkan oleh reaksi Maillard yang terjadi selama proses pengeringan kecambah kacang tunggak. Laju reaksi maillard meningkat dengan naiknya suhu dan terbukti berperan sebagai penetrat radikal serta agen pereduksi (Ariviani et al., 2020). Salah satu cara untuk memperpanjang masa simpan kacang tunggak adalah pembuatan tepung kecambah.

Penelitian Elvira et al. (2019) menunjukkan bahwa teknik produksi tepung kecambah kacang tunggak menggunakan oven bersuhu 50°C dengan waktu 24 jam menghasilkan daya cerna protein sebesar $48,45 \pm 0,51\%$. Sementara itu, metode pembuatan tepung kecambah kacang tunggak mampu menghasilkan aktivitas antioksidan (FRAP) sebesar $3,022 \pm 12,228 \mu\text{M AAEA/g sampel}$, protein terlarut $2,91 \pm 0,057\%$ db, serta memiliki derajat putih tertinggi adalah pemanasan pada suhu 80°C selama 2 jam (Ariviani et al., 2020). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama perkecambahan terhadap senyawa bioaktif pada tepung kecambah tunggak (*Vigna unguiculata* (L.)).

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dari bulan Oktober 2024 – Februari 2025 di Laboratorium Pengolahan Pangan dan Laboratorium Kimia Universitas Sahid serta Laboratorium Biotech IPB University.

Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah kacang tunggak yang dibeli dari supplier di daerah Bekasi. Bahan untuk analisis adalah standar GABA pa yang diperoleh dari BRIN Serpong, asam galat pa (Merck), buffer borat 0,2 M pa yang diperoleh dari BRIN Serpong, reagen fenol 6% pa yang diperoleh dari BRIN Serpong, natrium hipoklorit 9% pa yang diperoleh dari BRIN Serpong, *2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl* (DPPH) pa (Sigma Aldrich), standar asam askorbat pa (Merck), dan metanol pa (Merck).

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu spektrofotometer UV/Vis (Cecil CE 1021, UK), oven blower (WTB Binder, Jerman), *centrifuge* (Hettich EBA 3S, Jerman), *vortex* (Thermolyne Type 37600 Mixer, USA), *miller* (Fomac Type FGD-Z1000, Indonesia), *miller* (Fomac Type FGD-Z1000, Indonesia), ayakan (Mesh no. 80, Indonesia), dan jangka sorong (Vernier Caliper 6" 0-150mm/0.02mm, Jepang).

Metode

Penelitian ini menggunakan Rancangan Lengkap Tunggal (RAL) 1 faktor yaitu lama perkecambahan dengan 5 taraf dan 3 kali pengulangan, yaitu 0 jam (A1), 12 jam (A2), 24 jam (A3), 36 jam (A4), 48 jam (A5). Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu proses perkecambahan dan pembuatan tepung kecambah kacang tunggak yang mengacu pada penelitian Astawan et al. (2016) yang dimodifikasi. Modifikasi dilakukan pada tahap penyiraman air tanpa kapur tohor serta waktu perkecambahan. Penelitian dimulai dengan proses perkecambahan dengan kacang tunggak disortasi, dilanjutkan perendaman pada suhu ruang 25-35°C menggunakan air bersih dengan perbandingan kacang dan air (1:3) kemudian ditiriskan, dan dilanjutkan proses perkecambahan sesuai perlakuan dengan meletakan wadah berlubang yang sudah berisi kacang tunggak yang sudah disusun secara merata diletakkan di atas ember yang sudah diberikan 1/3 air untuk menjaga kelembapan selama masa perkecambahan. Setelah proses perkecambahan, kecambah kacang tunggak diolah menjadi tepung. Kecambah tunggak yang sudah dikupas kulit dikeringkan menggunakan blower pada suhu 55°C selama 4 jam, kemudian dihaluskan menggunakan *miller* selama 1 menit, dan diayak dengan ayakan berukuran 80 mesh. Tepung kecambah kacang tunggak dikemas dalam plastik vakum dan disimpan pada suhu -21°C hingga dilakukan tahap analisis.

Data hasil pengamatan dianalisis pengaruh antar perlakuan menggunakan ANOVA satu arah dengan tingkat signifikan 5%. Apabila terdapat pengaruh nyata antar perlakuan maka dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf signifikansi 5%. *Software* yang digunakan adalah SPSS versi 29.

Analisis Data

Pengujian Panjang Kecambah (Munarko et al., 2021)

Pengujian terhadap panjang kacang kedelai dilakukan dengan cara mengukur panjang kecambah dari bagian kepala, batang hingga bagian akar. Pengukuran menggunakan jangka sorong dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dan 20 kacang kecambah untuk setiap ulangan.

Pengujian Persentase Pertumbuhan Kecambah (Xue et al., 2016)

Pengujian terhadap persentase pertumbuhan kecambah dilakukan dengan cara membandingkan panjang awal kecambah jam ke-0 dengan panjang kecambah sesuai dengan waktu perlakuan.

Persentase perkecambahan dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Laju Perkecambahan (\%)} = \frac{(\text{Jumlah benih yang kecambah})}{\text{Jumlah total benih di awal}} \times 100\%$$

Proksimat (AOAC, 2023)

Kadar proksimat meliputi kadar air, abu, lemak, protein, dan karbohidrat. Uji proksimat dilakukan di Laboratorium Biotech IPB University.

Kadar Air

Sebanyak 1 g sampel ditimbang dalam cawan. Masukkan ke dalam oven suhu 105°C selama 8 jam, kemudian dinginkan dalam eksikator sebelum dilakukan penimbang. Proses ini dilakukan hingga berat cawan dan sampel konstan untuk memastikan semua air telah hilang. Kadar air dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{Bobot sampel (segar} - \text{kering)}}{\text{Bobot sampel segar}} \times 100\%$$

Kadar Abu

Sebanyak 1 g sampel ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui bobotnya, lalu abukan dalam tanur listrik pada suhu 600°C selama 4 jam sampai pengabuan sempurna (sekali-kali pintu tanur dibuka sedikit, agar oksigen bisa masuk), kemudian dinginkan dalam eksikator dan timbang sampai bobot tetap.

$$\text{Kadar Abu} = \frac{\text{Bobot abu}}{\text{Bobot sampel}} \times 100\%$$

Kadar Lemak

Sebanyak 2 g sampel disebar di atas kapas yang berasal kertas saring dan di gulung membentuk *thimble*, lalu dimasukkan ke dalam labu soxhlet. Kemudian di ekstraksi selama 6 jam dengan pelarut lemak berupa heksan sebanyak 150 mL. Lemak yang terekstrak, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam.

$$\text{Kadar Lemak} = \frac{\text{Bobot lemak terekstrak}}{\text{Bobot sampel}} \times 100\%$$

Kadar Protein

Sebanyak 0,25 g sampel, dimasukkan dalam labu kjeldhal 100 mL dan tambahkan selenium 0,25 g dan 3 mL H₂SO₄ pekat. Kemudian lakukan destruksi (pemanasan dalam keadaan mendidih) selama 1 jam, sampai larutan jernih. Setelah dingin tambahkan 50 mL aquadest dan 20 mL NaOH 40%, lalu

didestilasi. Hasil destilasi ditampung dalam labu Erlenmeyer yang berisi campuran 10 mL H_3BO_3 2% dan 2 tetes indikator *Brom Cresol Green-Methyl Red* berwarna merah muda. Setelah volume hasil tampungan (destilat) menjadi 10 mL dan berwarna hijau kebiruan, destilasi dihentikan dan destilasi dititrasi dengan HCl 0,1 N sampai berwarna merah muda. Perlakuan yang sama dilakukan juga terhadap blanko. Dengan metode ini diperoleh kadar nitrogen total yang dihitung dengan rumus:

$$\%N = \frac{(S - B) \times N HCl \times 14}{w \times 1000} \times 100\%$$

Keterangan:

S = volume titran sampel (mL)

B = volume titran blanko (mL)

w = bobot sampel kering (mg)

Kadar protein diperoleh dengan mengalikan kadar nitrogen dengan faktor perkalian untuk berbagai bahan pangan berkisar 5,18-6,38.

Kadar Karbohidrat

Kadar karbohidrat total ditentukan dengan metode *carbohidrat by difference* yaitu:

$$100\% - (\text{kadar air} + \text{kadar abu} + \text{kadar protein} + \text{kadar lemak})$$

Analisis Kandungan GABA (Zhang et al., 2014)

Sampel ditambah dengan aquades (1:10), divortex selama 10 menit dan disentrifus selama 60 menit dengan kecepatan putar 6000 RPM. Selanjutnya, supernatan dipipet sebanyak 0,5 mL ditambahkan 0,2 mL buffer borat 0,2 M, 1 mL reagen fenol 6% dan 0,4 mL natrium hipoklorit 9% lalu divortex. Sampel ditempatkan dalam air mendidih di *waterbath* selama 10 menit dan didinginkan dalam air es selama 20 menit. Kandungan GABA diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 645 nm.

Total Polifenol (AOAC, 2017)

Sampel ditambah dengan aquades (1:10), divortex selama 10 menit dan disentrifus selama 60 menit dengan kecepatan putar 6000 RPM. Selanjutnya, supernatan dipipet 0,3 mL ditambah 1,2 mL reagen fenol, dihomogenkan dan didiamkan selama 3 menit, kemudian ditambahkan 1,5 mL natrium karbonat 7,5%, dihomogenkan dan didiamkan selama 90 menit. Absorbansi larutan sampel dan standar diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 760 nm.

Analisis Aktivitas Antioksidan (Brand-Williams et al., 1995; Guergouri et al., 2017)

Sampel ditambah dengan aquades (1:10), divortex selama 10 menit dan disentrifus selama 60 menit dengan kecepatan putar 6000 RPM. Larutan stok DPPH 0,1 M dibuat dengan pelarut metanol. Supernatan dipipet sebanyak 1 mL ditambahkan dengan larutan DPPH 3 mL dan diinkubasi pada ruang gelap selama 60 menit. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 515 nm.

$$\% \text{ inhibisi} = \frac{(\text{Abs blanko} - \text{Abs sampel})}{\text{Abs blanko}} \times 100$$

Setelah didapatkan persentase aktivitas antioksidan dari masing-masing konsentrasi, dilanjutkan dengan perhitungan secara regresi linier (x, y) untuk mendapatkan nilai, di mana x sebagai konsentrasi (ppm) dan y sebagai persentase aktivitas antioksidan. Nilai IC_{50} menunjukkan konsentrasi yang dapat meredam radikal DPPH sebanyak 50%. IC_{50} diperoleh dengan rumus:

$$y = Bx + A$$

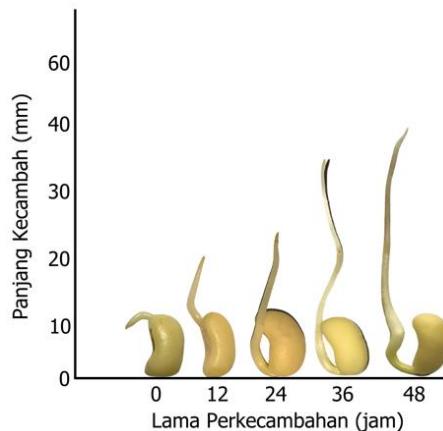
Nilai IC_{50} didapatkan dari nilai x setelah mengganti y dengan 50.

HASIL DAN PEMBAHASAN

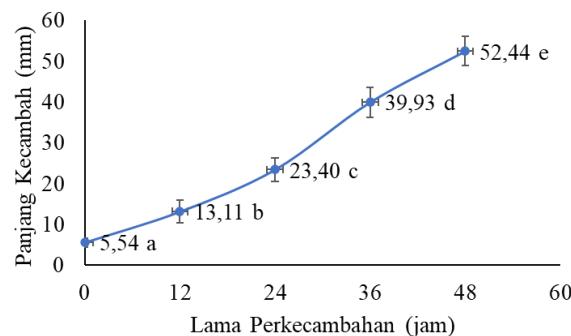
Mutu tepung kecambah tunggak ditentukan berdasarkan panjang kecambah, persentase pertumbuhan kecambah, proksimat, GABA, total polifenol, dan aktivitas antioksidan IC_{50} .

Panjang Kecambah Kacang Tunggak

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin lama perkecambahan pada kacang tunggak maka panjang kecambah semakin meningkat, berkisar antara $5,54 \pm 1,12$ – $52,43 \pm 3,56$. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap panjang kecambah kacang tunggak. Semakin lama waktu perkecambahan, semakin tinggi panjang kecambah kacang tunggak.



Gambar 1. Visual Kecambah Kacang Tunggak



Gambar 2. Grafik Panjang Kecambah Kacang Tunggak

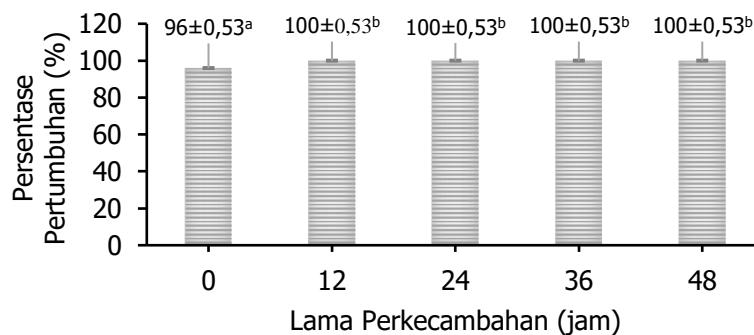
Keterangan: Grafik yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) uji DMRT

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Khoirunnissa et al. (2022) yang menunjukkan peningkatan panjang kecambah biji lamtoro dari lama perkecambahan 0 jam sebesar 0,0 mm hingga 48 jam sebesar 19,2 mm. Peningkatan panjang kecambah seiring lamanya waktu perkecambahan disebabkan oleh terjadinya difusi air yaitu air masuk dengan cepat ke dalam benih kemudian memicu perubahan fisik yang diperlukan untuk memulai proses perkecambahan (Munarko et al., 2019). Proses perendaman menyebabkan peningkatan penyerapan air sehingga terdapat perubahan pada struktur biji. Komponen internal biji meningkat dan menjadi longgar karena air masuk ke bagian kotiledon. Air yang terserap dapat mengaktifkan enzim menyebabkan terjadinya proses perkecambahan. Kulit biji melindungi embrio dan berinteraksi erat dengan lingkungan eksternal, terutama selama proses perkecambahan dan pembentukan bibit saat munculnya organ-organ pada tanaman seperti akar, daun dan batang (Ferdiawan & Dwiloka, 2019; Quilichini et al., 2022). Proses perendaman selama 12 jam

yang dilakukan sebelum perkecambahan menyebabkan terjadinya perombakan nutrisi dan peningkatan aktivitas metabolismik yang diakibatkan oleh aktifnya enzim. Air di dalam sel dapat mengaktifkan sejumlah enzim pada awal perkecambahan. Proses perendaman meningkatkan aktivitas metabolismik, air yang diserap oleh sel mengaktifkan enzim, yang mendorong pembentukan radikula (Shofi, 2017).

Percentase Pertumbuhan Kecambah Kacang Tunggak

Berdasarkan Gambar 3 dibawah ini, diketahui bahwa persentase pertumbuhan kecambah kacang tunggak semakin meningkat seiring waktu perkecambahan, berkisar antara $96\pm0,53\%$ pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $100\pm0,53\%$ pada perkecambahan 48 jam. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p<0,05$) terhadap persentase pertumbuhan kecambah kacang tunggak. Semakin lama proses perkecambahan, semakin meningkat persentase pertumbuhan kecambah kacang tunggak.



Gambar 3. Persentase Pertumbuhan Kecambah Kacang Tunggak

Keterangan: Grafik batang yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p<0,05$) uji DMRT

Peningkatan panjang kecambah sejalan dengan peningkatan persentase perkecambahan, dan semakin lama waktu perkecambahan, panjang kecambah maupun persentase perkecambahannya meningkat secara bersamaan. Proses ini terjadi karena metabolisme aktif pada sel-sel embrio setelah menyerap air, yang melibatkan proses katabolisme untuk perombakan zat serta anabolisme untuk sintesis komponen sel yang mendukung pertumbuhan. Proses metabolisme ini berlangsung secara kontinyu, memungkinkan kecambah berkembang hingga menjadi tanaman dewasa. Perkecambahan biji merupakan proses biologis yang bergantung pada sel hidup dan membutuhkan energi. Selain air dan oksigen, faktor eksternal seperti suhu, cahaya, dan medium juga berperan dalam keberhasilan perkecambahan (Fathurrahman et al., 2018; Putri et al., 2022). Selain itu, peningkatan persentase pertumbuhan kecambah kacang tunggak seiring bertambahnya waktu perkecambahan disebabkan oleh kandungan karbohidrat, protein, dan lemak dalam biji yang berfungsi sebagai sumber energi untuk mendukung perkembangan organ tanaman seperti akar, batang, dan daun (Ferdianwan & Dwiloka 2019). Perendaman selama 12 jam sebelum perkecambahan memicu perombakan nutrisi dan aktivasi enzim yang meningkatkan aktivitas metabolismik. Air di dalam sel merangsang aktivasi sejumlah enzim yang berperan dalam tahap awal perkecambahan, sehingga mempercepat pembentukan radikula (Shofi, 2017).

Kadar Proksimat

Tabel 1. Hasil Pengamatan Pengaruh Lama Waktu Perkecambahan terhadap Kadar Proksimat Tepung Kecambah Kacang Tunggak Tunggak

Lama Perkecambahan	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%bk)	Kadar Lemak (%bk)	Kadar Protein (%bk)	Kadar Karbohidrat (%bk)
0 jam	7,47±0,06 ^a	4,81±0,06 ^c	1,17±0,11 ^{ab}	30,01±0,35 ^c	56,56±0,46 ^b
12 jam	7,50±0,00 ^a	4,86±0,20 ^c	1,65±0,04 ^c	27,56±0,51 ^a	58,43±0,27 ^c
24 jam	9,61±0,26 ^b	4,38±0,02 ^{ab}	1,02±0,11 ^a	28,66±0,22 ^b	56,35±0,39 ^b
36 jam	8,54±0,04 ^c	4,16±0,06 ^a	1,64±0,36 ^{bc}	29,78±0,27 ^c	55,89±0,52 ^b
48 jam	9,68±0,18 ^c	4,50±0,11 ^b	1,02±0,11 ^a	32,13±0,02 ^d	52,68±0,38 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti superskrip huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada kolom yang sama dengan $p<0,05$ uji DMRT

Kadar Air

Tabel 1 menunjukkan peningkatan kadar air tepung kecambah kacang tunggak berkisar antara $7,47\pm0,06$ % pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $9,58\pm0,18$ % pada perkecambahan 48 jam. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p<0,05$) terhadap kadar air tepung kecambah kacang tunggak, sehingga semakin lama proses perkecambahan kadar air tepung kecambah kacang tunggak semakin meningkat.

Hal ini sejalan dengan penelitian Atudorei et al. (2021) yang menunjukkan peningkatan kadar air tepung kecambah kacang kedelai dari lama perkecambahan 0 jam $9,8\pm0,28$ % hingga 48 jam yakni sebesar $10,4\pm0,14$ %. Peningkatan kadar air disebabkan oleh penyerapan air yang berlangsung secara aktif pada tahap imbibisi, yaitu tahap awal ketika biji menyerap air dari lingkungan sekitarnya. Pada perkecambahan 0 jam, biji baru mulai menyerap air sehingga kadar air relatif rendah ($7,47\pm0,06$ %). Air yang diserap oleh benih meningkatkan tekanan internal, yang menyebabkan terjadinya perubahan signifikan pada struktur fisik dan biokimia benih, terutama pada sel-sel yang berada di dalam embrio. Perkecambahan 48 jam, penyerapan air telah berlangsung lebih lama dan aktivitas fisiologis biji meningkat, sehingga kadar air naik menjadi $9,58\pm0,18$ %. Imbibisi berfungsi dalam mengaktifkan enzim-enzim yang diperlukan untuk memecah cadangan makanan di dalam benih, seperti pati dan protein, yang mendukung pertumbuhan embrio. Selama imbibisi, bahan koloid terutama protein mengalami pengembangan atau penggembungan karena interaksi dengan air yang akhirnya menyebabkan kulit biji pecah dan membuka jalan bagi radikula atau akar kecil untuk tumbuh keluar (Ananta, 2021). Semakin lama perkecambahan, kadar air tepung kecambah kacang tunggak semakin meningkat karena aktivitas imbibisi dan perubahan fisiologis biji selama perkecambahan.

Kadar Abu

Tabel 1 menunjukkan penurunan kadar abu tepung kecambah kacang tunggak antara $4,81\pm0,06$ % pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $4,50\pm0,11$ % pada perkecambahan 48 jam. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p<0,05$) terhadap kadar abu tepung kecambah kacang tunggak, sehingga semakin lama proses perkecambahan kadar abu tepung kecambah kacang tunggak semakin menurun.

Hal ini sejalan dengan penelitian Atudorei et al. (2021) yang menunjukkan peningkatan kadar air kecambah kacang tanah dari lama perkecambahan 0 jam $3,6\pm0,07$ % hingga 48 jam yakni sebesar $3,4\pm0,07$ %. Kadar abu mencerminkan kandungan mineral dalam bahan pangan. Kacang tunggak mengandung berbagai mineral penting seperti kalsium, fosfor, kalium, magnesium, seng, dan tembaga. Selama proses perkecambahan, aktivitas enzim termasuk fitase dan menghidrolisis ikatan antara

protein, enzim, dan mineral menjadi lebih mudah dilepaskan. Akibatnya, kadar abu dapat mengalami penurunan karena aktivitas enzimatik ini mengurangi akumulasi total padatan terlarut dalam bahan (Atudorei et al. 2021). Hal ini menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh terhadap perubahan kadar mineral dalam tepung kecambah kacang tumbang.

Kadar Lemak

Tabel 1 menunjukkan penurunan kadar lemak tepung kecambah kacang tumbang antara $1,17 \pm 0,11\%$ pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $1,02 \pm 0,11\%$ pada perkecambahan 48 jam. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar lemak dalam tepung kecambah kacang tumbang, sehingga semakin lama proses perkecambahan kadar lemak tepung kecambah kacang tumbang semakin menurun.

Hal ini sejalan dengan penelitian Agustia et al., (2023) yang menunjukkan penurunan kadar lemak tepung kecambah kacang koro pedang dari lama perkecambahan 0 jam sebesar $3,84 \pm 0,23\%$ dengan lama perkecambahan 48 jam sebesar $3,78 \pm 0,20\%$. Penurunan kadar lemak selama proses perkecambahan terjadi karena lemak yang berfungsi sebagai cadangan makanan mengalami hidrolisis dan masuk ke jalur glikolisis untuk menghasilkan energi. Lemak dalam biji dihidrolisis untuk meningkatkan aktivitas pernapasan dan memenuhi kebutuhan energi selama proses tersebut. Semakin lama waktu perkecambahan, semakin banyak lemak yang dimetabolisme untuk mendukung pertumbuhan embrio, sehingga kadar lemak dalam tepung kecambah menurun secara signifikan (Damayanti et al., 2019; Chinma et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh terhadap penurunan kadar lemak pada kecambah kacang tumbang.

Kadar Protein

Tabel 1 menunjukkan peningkatan kadar protein tepung kecambah kacang tumbang antara $30,01 \pm 0,35\%$ pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $32,13 \pm 0,02\%$ pada perkecambahan 48 jam. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar protein tepung kecambah kacang tumbang, sehingga semakin lama proses perkecambahan kadar protein tepung kecambah kacang tumbang semakin meningkat.

Hal ini sejalan dengan penelitian Atudorei et al. (2021) yang menunjukkan kenaikan kadar protein tepung kecambah kacang arab dari lama perkecambahan 0 jam sebesar $19,4 \pm 0,07$ dengan lama perkecambahan 48 jam sebesar $20,7 \pm 0,28$. Hal ini terjadi karena pembentukan asam amino esensial, yang berperan sebagai komponen utama dalam penyusunan protein yang dibutuhkan untuk pertumbuhan kacang tumbang selama perkecambahan. Aktivitas enzim juga menjadi faktor utama yang memengaruhi proses perkecambahan. Semakin meningkatnya jumlah enzim selama proses perkecambahan maka akan semakin tinggi juga kadar proteinnya (Ferdiawan & Dwiloka, 2019). Semakin lama perkecambahan, kadar protein tepung kecambah kacang tumbang semakin meningkat karena meningkatnya jumlah enzim selama proses perkecambahan.

Kadar Karbohidrat

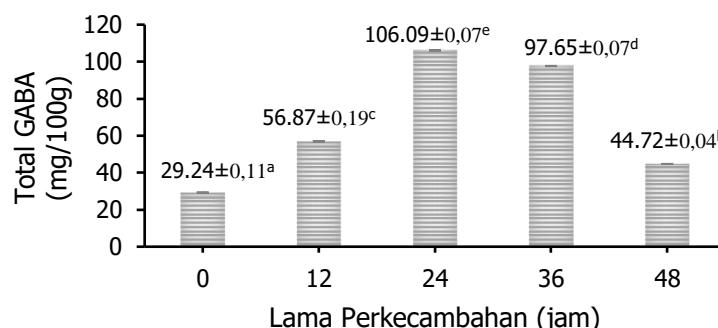
Tabel 1 menunjukkan penurunan kadar karbohidrat tepung kecambah kacang tumbang antara $56,56 \pm 0,46\%$ pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $52,68 \pm 0,38\%$ pada perkecambahan 48 jam. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh secara nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar karbohidrat dalam tepung kecambah kacang tumbang, sehingga semakin lama proses perkecambahan kadar karbohidrat tepung kecambah kacang tumbang semakin menurun.

Hal ini sejalan dengan penelitian Atudorei et al. (2021) yang menunjukkan peningkatan kadar air kecambah kacang kedelai dari lama perkecambahan 0 jam $28,8 \pm 0,14$ hingga 48 jam yakni sebesar $27,0 \pm 0,07$. Kadar karbohidrat tepung kecambah kacang tumbang mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya lama perkecambahan, hal ini terjadi karena karbohidrat dimanfaatkan sebagai sumber energi utama selama proses perkecambahan untuk mendukung aktivitas metabolismik, termasuk respirasi

dan pertumbuhan embrio. Pada tahap ini, enzim amilase diaktifkan dan menghidrolisis pati menjadi gula sederhana yang mudah digunakan sebagai energi bagi sel-sel yang berkembang (Rachim et al., 2020). Semakin lama perkecambahan berlangsung, semakin besar pemanfaatan cadangan karbohidrat, sehingga kadar karbohidrat dalam tepung kecambah kacang tumbang menurun secara signifikan.

Kandungan *Gamma Aminobutyric Acid (GABA)*

Gambar 4 menunjukkan peningkatan kandungan *Gamma Aminobutyric Acid (GABA)* tepung kecambah kacang tumbang berkisar antara $29,24 \pm 0,11$ mg/100g pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $106,09 \pm 0,07$ mg/100g pada perkecambahan 24 jam dan menurun pada perkecambahan 36 jam sebesar $97,65 \pm 0,07$ mg/100g hingga 48 jam sebesar $44,72 \pm 0,04$ mg/100g. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kandungan GABA dalam tepung kecambah kacang tumbang, sehingga semakin lama proses perkecambahan kandungan GABA tepung kecambah kacang tumbang semakin meningkat.



Gambar 4. Hasil Pengujian Gaba Tepung Kecambah Kacang Tumbang

Keterangan: Grafik batang yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) uji DMRT

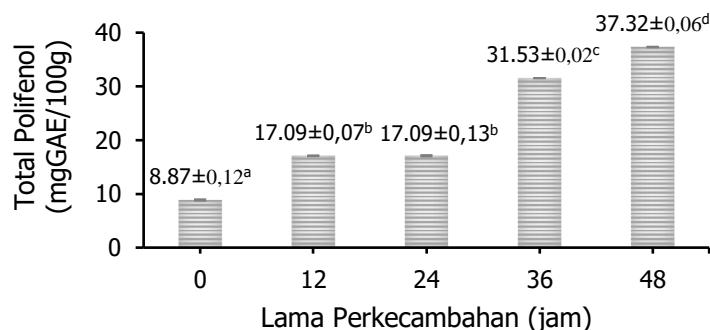
Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Vann et al. (2020) menunjukkan terjadinya peningkatan kandungan GABA pada kacang hitam dengan lama perkecambahan 0 jam sebesar $1,47 \pm 0,03$ menjadi $4,78 \pm 0,01$ mg/100g (3,2 kali lipat) pada perkecambahan 24 jam dan menurun pada jam ke-36 sebesar $1,89 \pm 0,11$ mg/100g (2,5 kali lipat) dibandingkan dengan kadar tertingginya di jam ke-24. Peningkatan kandungan GABA terjadi karena kandungan enzim glutamat dekarboksilase (GAD) yang tinggi secara signifikan berperan dalam mempercepat proses konversi asam glutamat menjadi asam gamma-aminobutirat (GABA) selama perendaman dan perkecambahan biji. Proses ini terjadi karena GAD berfungsi sebagai katalis dalam reaksi dekarboksilasi asam glutamat, menghasilkan GABA sebagai produk utama. Aktivitas GAD yang optimal selama tahap awal perkecambahan memungkinkan akumulasi GABA dalam jumlah yang signifikan, yang sering dikaitkan dengan manfaat fisiologis bagi tanaman dan potensinya untuk meningkatkan nilai fungsional biji-bijian (Gunathunga et al., 2024), namun penurunan kandungan GABA yang terjadi pada tahap perkecambahan lebih lanjut khususnya pada 36 hingga 48 jam.

Penurunan kandungan GABA diduga berkaitan dengan berkurangnya aktivitas GAD seiring waktu dan meningkatnya aktivitas enzim GABA transaminase (GABA-T). GABA-T adalah enzim yang mengkatalisis konversi GABA menjadi suksinat melalui jalur metabolisme siklus Krebs. Peningkatan aktivitas GABA-T ini menyebabkan laju konversi GABA menjadi suksinat lebih tinggi dibandingkan dengan laju produksi GABA melalui aktivitas GAD. Akibatnya, konsentrasi GABA dalam jaringan biji mulai menurun pada tahap-tahap akhir perkecambahan. Interaksi antara aktivitas GAD dan GABA-T menunjukkan adanya keseimbangan metabolismik yang berubah seiring waktu, yang dipengaruhi oleh kebutuhan energi dan dinamika metabolisme biji selama proses perkecambahan (Munarko et al., 2020; Cai et al., 2023). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan GABA pada tahap awal perkecambahan kacang tumbang dipengaruhi oleh aktivitas enzim GAD yang tinggi, sedangkan

penurunan kadar GABA pada tahap lanjut (36–48 jam) terjadi akibat dominasi aktivitas enzim GABA transaminase (GABA-T) yang mengonversi GABA menjadi suksinat. Lama waktu perkecambahan berperan penting dalam menentukan keseimbangan aktivitas enzimatik yang memengaruhi akumulasi maupun degradasi GABA pada biji kecambah.

Total Polifenol

Gambar 5 menunjukkan peningkatan total polifenol tepung kecambah kacang tunggak berkisar antara $8,87 \pm 0,12$ mg GAE/100 g pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $37,32 \pm 0,06$ mgGAE/100 g pada perkecambahan 48 jam. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kandungan total polifenol, sehingga semakin lama perkecambahan kandungan total polifenol dalam tepung kecambah kacang tunggak semakin meningkat.



Gambar 5. Hasil Pengujian Total Polifenol Tepung Kecambah Kacang Tunggak

Keterangan: Grafik batang yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) uji DMRT

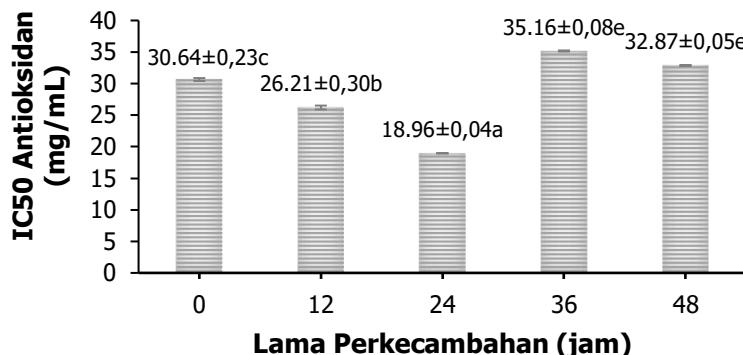
Hal ini sejalan dengan penelitian Putri et al. (2022) yang menunjukkan adanya peningkatan senyawa fenol pada tepung kecambah kacang tunggak. Pada penelitian tersebut, kandungan senyawa fenol meningkat dari 100,55 mg GAE/100 g pada perkecambahan 0 jam menjadi 256,16 mg GAE/100 g pada perkecambahan 48 jam. Peningkatan selama proses perkecambahan, diakibatkan oleh meningkatnya aktivitas enzim yang terlibat dalam proses biosintesis seperti karbohidrase, lipase dan protease yang menyebabkan senyawa fenolik terikat pada makromolekul terputus sehingga dapat membentuk senyawa fenol baru (Xu et al., 2020). Peningkatan total polifenol disebabkan karena adanya proses biosintesis senyawa fenolik yaitu bentuk pertahanan diri bagi kecambah. Selain itu, senyawa fenol juga dapat berperan sebagai pelindung dari sinar ultraviolet, logam berat, kekeringan, suhu dingin, dan kekurangan nutrisi (Putri et al., 2022; Fauzi et al., 2023).

Mekanisme polifenol sebagai antioksidan melibatkan pemberian atom H dari gugus hidroksilnya. Reaksi Fenton terjadi saat H_2O_2 berinteraksi dengan Fe^{2+} , menghasilkan radikal bebas -OH. Polifenol mampu mengikat Fe^{2+} , sehingga mengurangi pembentukan radikal bebas -OH. Selain itu, polifenol dapat menyumbangkan atom hidrogen untuk menetralkan -OH menjadi H_2O dan juga menetralkan -ROO, yang merupakan hasil reaksi antara R- dengan O_2 (Hasanah et al., 2019). Peningkatan total polifenol selama proses perkecambahan berkaitan erat dengan pembentukan senyawa fenol baru, mencerminkan respon fisiologis kecambah dalam menghasilkan senyawa fenolik sebagai mekanisme pertahanan terhadap berbagai stres lingkungan dan upaya adaptasi selama proses pertumbuhan.

Aktivitas Antioksidan IC₅₀

Gambar 5 menunjukkan peningkatan aktivitas antioksidan IC₅₀ berkisar antara $30,64 \pm 0,23$ mg/mL pada perkecambahan 0 jam sampai dengan $18,96 \pm 0,04$ mg/mL pada perkecambahan 24 jam dan menurun pada lama perkecambahan 36 sebesar $35,16 \pm 0,08$ mg/mL dan pada lama perkecambahan 48 jam sebesar $32,87 \pm 0,05$ mg/mL. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama perkecambahan

berpengaruh nyata ($p<0,05$) terhadap aktivitas antioksidan IC_{50} tepung kecambah kacang tunggak, sehingga semakin lama proses perkecambahan aktivitas antioksidan IC_{50} tepung kecambah kacang tunggak semakin meningkat.



Gambar 6. Hasil Pengujian Aktivitas Antioksidan IC_{50} Tepung Kecambah Kacang Tunggak

Keterangan: Grafik batang yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p<0,05$) uji DMRT

Hal ini sejalan dengan penelitian Lien et al. (2016) yang menunjukkan adanya peningkatan aktivitas antioksidan IC_{50} pada kacang kedelai kecambah. Pada penelitian tersebut, aktivitas antioksidan IC_{50} dari 10,7 mg/mL pada perkecambahan 0 jam menjadi 5,7 mg/mL pada perkecambahan 48 jam. Peningkatan ini terjadi karena peningkatan aktivitas antioksidan disebabkan oleh pembentukan senyawa fenol, *Gamma-aminobutirat acid* (GABA), dan asam amino lain (Aminah, 2020). Sebagai senyawa organik dengan gugus amin, GABA dapat mendonasikan atom hidrogen untuk menstabilkan radikal bebas yang sangat reaktif, seperti radikal hidroksil (-OH) atau amin GABA mengubah radikal bebas menjadi molekul yang lebih stabil, seperti H_2O dari radikal -OH atau $ROOH$ dari radikal peroksil (-ROO). Proses ini mencegah kerusakan oksidatif pada sel dan jaringan selain itu, GABA dapat berperan dalam mengurangi pembentukan radikal bebas dengan memodulasi aktivitas enzim antioksidan atau dengan meminimalkan reaksi oksidatif berantai yang dapat merusak biomolekul penting seperti lipid, protein, dan DNA. Kemampuan GABA sebagai antioksidan membantu tubuh melawan stres oksidatif dan melindungi sel dari kerusakan lebih lanjut (Kuligowski et al., 2017).

Selama perkecambahan, peningkatan senyawa fenolik disertai dengan peningkatan aktivitas antioksidan. Mekanisme lain yang berkontribusi termasuk pembentukan radikal bebas (ROS) dan perubahan ion membran sel. Proses ini terjadi sebagai bentuk perlindungan biji terhadap stres oksidatif, namun penurunan aktivitas antioksidan dapat terjadi karena penggunaan intensif senyawa antioksidan dalam metabolisme untuk mendukung pertumbuhan embrio (Aminah, 2020; Tsalissavrina et al., 2022; Susanti et al., 2022). Penurunan aktivitas antioksidan IC_{50} juga dapat terjadi karena menurunnya kandungan *Gamma-aminobutirat acid* (GABA) pada lama perkecambahan 36–48 jam. Selain itu, penurunan aktivitas antioksidan dimungkinkan akibat degradasi beberapa senyawa antioksidan yang disebabkan oleh paparan cahaya, perubahan suhu, maupun pH selama proses perkecambahan berlangsung (Diniyah & Lee, 2020). Peningkatan aktivitas antioksidan pada tepung kecambah kacang tunggak berkaitan dengan akumulasi senyawa fenolik, GABA, dan asam amino selama perkecambahan. Aktivitas tertinggi terjadi pada tahap awal hingga menengah, sedangkan penurunan pada 36–48 jam disebabkan oleh berkurangnya GABA dan degradasi senyawa antioksidan. Hal ini menegaskan adanya keterkaitan antara kandungan senyawa bioaktif dan kemampuan antioksidan selama proses perkecambahan.

KESIMPULAN

Perlakuan lama perkecambahan berpengaruh nyata terhadap karakter fisik dan kimia tepung kecambah kacang tunggak, termasuk panjang dan pertumbuhan kecambah, proksimat, serta

kandungan senyawa bioaktif seperti GABA, polifenol, dan aktivitas antioksidan. Waktu perkecambahan optimal diperoleh pada 24 jam dengan menghasilkan tepung berkualitas terbaik yang kaya protein, GABA, dan memiliki aktivitas antioksidan tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan lama perkecambahan berpotensi menjadi strategi efektif dalam meningkatkan nilai fungsional kacang tunggak, sehingga berimplikasi positif terhadap pengembangan pangan fungsional berbasis sumber nabati.

DAFTAR PUSTAKA

- Arinanti, M. (2018). Potensi senyawa antioksidan alami pada berbagai jenis kacang. *Ilmu Gizi Indonesia*, 1(2), 134–143.
- Ariviani, S., Mudalifah, I., Ishartani, D., & Fauza, G. (2020). Investigation on antioxidant activity, protein, and whiteness degree of elicited Cowpea sprouts flour prepared with various drying technique. *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics.
- AOAC. (2017). Determination of total phenolic content using the folin-c assay: single-laboratory validation, first action 2017.13. *Journal of AOAC international*, 102(1).
- AOAC. (2023). *Official methods of analysis of AOAC international (22nd edition)*. Latimer, G. W. (ed.). Oxford University Press.
- Asta, S., Maulana R, F., Ishartani, D., & Fauza, G. (2020). Antioxidant capacity and germination power of NaCl-elicited Cowpea (*Vigna unguiculata*) sprouts with various NaCl concentrations and elicitation durations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing.
- Astawan, M., Wresdiyati, T., & Ichsan, M. (2016). Karakteristik fisikokimia tepung tempe kecambah kedelai. *Jurnal Gizi Pangan*, 11(1), 35–42.
- Atudorei, D., Stroe, S. G., & Codina, G. G. (2021). Impact of germination on the microstructural and physicochemical properties of different legume types. *Plants*, 10(3), 1–19.
- Buzera, A., Kinyanjui, P., Ishara, J., & Sila, D. (2018). Physical and cooking properties of two varieties of bio-fortified common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in DR Congo. *Food Science & Quality Management*, 71, 1–12.
- Caceres, P. J., Penas, E., Martinez-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.
- Diniyah, N., & Lee, S. H. (2020). Komposisi senyawa fenol dan potensi antioksidan dari kacang-kacangan : review. *Jurnal Agroteknologi*, 14(01), 91–102.
- Ekafitri, R., & Isworo, A. R. (2014). Pemanfaatan kacang-kacangan sebagai bahan baku sumber protein untuk pangan darurat. *Jurnal Pangan*, 23(1), 134–144.
- Elvira, N., Wisaniyasa, N. W., & Hapsari, N. M. I. (2019). Studi Sifat kimia, fungsional, dan daya cerna protein tepung kecambah Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Media Ilmiah Teknologi Pangan (Scientific Journal of Food Technology)*, 6(1), 43–53.

- Ferdiawan, N., & Dwiloka, D. B. (2019). Pengaruh lama waktu germinasi terhadap sifat fisik dan sifat kimia tepung Kacang Tolo (*Vigna unguiculata* L.). *Jurnal Teknologi Pangan*, 3(2), 349–354.
- Ferreira, C. D., Bubolz, V. K., da Silva, J., Dittgen, C. L., Ziegler, V., de Oliveira Raphaelli, C., & de Oliveira, M. (2019). Changes in the chemical composition and bioactive compounds of chickpea (*Cicer arietinum* L.) fortified by germination. *LWT*, 111, 363–369.
- Fransiska., & Suryani, T. (2024). Kualitas kefir kombinasi susu kacang tunggak dan susu skim dengan variasi jenis gula dan lama fermentasi. *Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 7(1), 216–228.
- Guergouri, F. Z., Benboubetra, M., & Sobhi, W. (2017). Antioxidant activity of Algerian Nigella sativatotal oil and its unsaponifiable fraction. *The Journal of Phytopharmacology*, 6(4):234–238.
- Hwang, C. E., Haque, M. A., Lee, J. H., Song, Y. H., Lee, H. Y., Kim, S. C., & Cho, K. M. (2018). Bioconversion of γ -aminobutyric acid and isoflavone contents during the fermentation of high-protein soy powder yogurt with *Lactobacillus brevis*. *Applied Biological Chemistry*, 61(4), 409–421.
- Josipovic, A., Sudar, R., Sudaric, A., Jurkovic, V., Kocar, M. M., & Kulundzic, A. M. (2016). Total phenolic and total flavonoid content variability of soybean genotypes in Eastern Croatia. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 8(2), 60–65.
- Lalopua, V. M. N. (2024). Deteksi senyawa bioaktif polifenol dan flavonoid dari ekstrak aseton makro alga *Ulva lactuca* di perairan Hulaliu Kecamatan Pulau Haruku. *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi (JSTI)*, 6(2), 267–273.
- Lorenza, R. (2023). Penerapan model predator-prey pada proses perkecambahan biji kacang hijau. *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, 2(2), 44.
- Martianingsih, N., Sudrajat, H. W., & Darlian, L. (2016). Analisis kandungan protein kecambah kacang hijau (*Phaseolus radiatus* L.) terhadap variasi waktu perkecambahan. *Jurnal Ampibi*, 1(2), 38–42.
- Munarko, H., Sitanggang, A. B., Kusnandar, F., & Budijanto, S. (2019). Kecambah beras pecah kulit : proses produksi dan karakteristiknya. *Jurnal Pangan*, 28(3), 239–252.
- Munarko, H., Sitanggang, A. B., Kusnandar, F., & Budijanto, S. (2020). Phytochemical, fatty acid and proximal composition of six selected Indonesian Brown Rice varieties. *CYTA - Journal of Food*, 18(1), 336–343.
- Naisali, H., & Wulan, S. N. (2020). Karakteristik sensori tempe kacang tunggak hitam dan tempe kedelai. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 8(1), 29–35.
- Olabanji, I. O., Ajayi, O. S., Oluyemi, E. A., Olawuni, I. J., Adeniji, A. O., Olasupo, O. F., Agboola R. O, & Olusesi, I. M. (2018). Nutraceuticals in different varieties of cowpeas. *American Journal of Food Science and Technology*, 6(2), 68–75.
- Putri, F. L. & Kartikawati, D. (2022). Optimasi konsentrasi ragi dan jenis pembungkus dalam pembuatan tempe kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Jurnal Agrifoodtech*, 1(2), 103–118.

- Rachim, F. R., Wisaniyasa, N. W., & Wiadnyani, A. A. I. S. (2020). Studi daya cerna zat gizi dan aktivitas antioksidan tepung kecambah kacang hijau (*Phaseolus radiatus* L.). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 9(1), 1–9.
- Sahab, N. R. M., Subroto, E., Balia, R. L., & Utama, G. L. (2020). γ -Aminobutyric acid found in fermented foods and beverages: current trends. *Helijon*, 6(11), e05526.
- Silva, M. B. R., Leite, R. S., de Oliveira, M. Á., & Ida, E. I. (2020). Germination conditions influence the physical characteristics, isoflavones, and vitamin C of soybean sprouts. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 55, e01409.
- Sorour, M. A., El-Galel, H. A., Mehanni, A-H. E., & Ahmed, W. K. (2018). Polyphenols, tannins and phytate contents in some egyptian legumes as affected by soaking and germination processes. *Journal of Sohag Agriscience*, 3(1), 94–111.
- Teleanu, R. I., Niculescu, A. G., Roza, E., Vladâcenco, O., Grumezescu, A. M., & Teleanu, D. M. (2022). Neurotransmitters key factors in neurological and neurodegenerative disorders of the central nervous system. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11), e5954.
- Tiansawang, K., Luangpituksa, P., Varanyanond, W., & Hansawasdi, C. (2016). GABA (γ -aminobutyric acid) production, antioxidant activity in some germinated dietary seeds and the effect of cooking on their GABA content. *Food Science and Technology (Brazil)*, 30(2), 313–321.
- Vann, K., Techaparin, A., and Apiraksakorn, J. (2020). Beans germination as a potential tool for GABA-enriched tofu production. *Journal of Food Science and Technology*, 57(11), 3947–3954.
- Winantoro, F. A., Ratnawati, D. E., & Anam, S. (2021). Klasifikasi fungsi senyawa aktif berdasarkan notasi simplified molecular input line entry system (SMILES) menggunakan metode random forest. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(4), 1250–1256.
- Xu, M., Rao, J., & Chen, B. (2020). Phenolic compounds in germinated cereal and pulse seeds: classification, transformation, and metabolic process. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(5), 740–759.
- Xue, Z., Wang, C., Zhai, L., Yu, W., Chang, H., Kou, X., & Zhou, F. (2016). Bioactive compounds and antioxidant activity of mung bean (*Vigna radiata* L.), soybean (*Glycine max* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during the germination process. *Czech Journal of Food Sciences*, 34(1), 68–78.
- Yang, Z., Xu, Y., Song, P., Li, X., Zhou, J., Lin, L., Xia, H., Liang, D., Luo, X., Zhang, H., Deng, Q., & Wang, Y. (2023). Effects of Gamma Amino Butyric Acid (GABA) on nutrient uptake of loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl) seedlings. *Horticulturae*, 9(2), 196.
- 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.