

Perubahan Nilai Gizi dan Viabilitas Biji Lamtoro Mlanding [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] pada Optimasi Proses Skarifikasi

*Nutritional Value Changes and Seed Viability of Lamtoro Mlanding [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] in Optimization of Scarification Process*

Yasmin Aulia Rachma¹, Ratih Paramastuti¹, Lutfi Purwitasari¹, Sri Darmanti^{2*}

¹Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang

²Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

*Korespondensi dengan penulis (darmantisri@yahoo.co.id)

Artikel ini dikirim pada tanggal 10 Juli 2025 dan dinyatakan diterima tanggal 29 Juli 2025. Artikel ini juga dipublikasi secara online melalui <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/tekpangan>. eISSN 2597-9892. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang diperbanyak untuk tujuan komersial.

Abstrak

Biji lamtoro mlanding (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) merupakan sumber protein nabati potensial yang belum dimanfaatkan secara optimal, terutama karena adanya dormansi fisiologis akibat struktur kulit biji yang keras. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan suhu dan durasi skarifikasi termal terhadap viabilitas benih serta mengevaluasi perubahan nilai gizi biji selama proses perkecambahan. Rancangan penelitian terdiri dari dua tahap, yaitu penentuan perlakuan skarifikasi terbaik berdasarkan kecepatan perkecambahan dan Germination Rate Index (GRI), dan analisis perubahan komposisi karbohidrat, protein kasar, dan protein terlarut selama 72 jam perkecambahan pada kondisi optimal. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan 70 °C selama 15 menit menghasilkan viabilitas terbaik dengan kecepatan perkecambahan $\pm 80\%$ /hari dan GRI ± 80 . Perkecambahan selama 72 jam meningkatkan kandungan karbohidrat hingga 43,13%, protein kasar hingga 37,16%, dan memodifikasi kandungan protein terlarut secara optimal di durasi 72 jam perkecambahan. Hasil ini menunjukkan bahwa skarifikasi dan perkecambahan dapat meningkatkan kualitas gizi biji lamtoro mlanding, memperkuat potensinya sebagai bahan pangan fungsional lokal.

Kata Kunci: biokonversi nutrisi, dorman, perkecambahan, skarifikasi.

Abstract

Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit seeds are a potential source of vegetable protein that has not been optimally utilized, mainly due to physiological dormancy due to the hard seed coat structure. This study aims to optimize the temperature and duration of thermal scarification on seed viability and evaluate changes in seed nutritional value during the germination process. The study design consisted of two stages, namely determining the best scarification treatment based on germination rate and Germination Rate Index (GRI), and analyzing changes in carbohydrate, crude protein, and soluble protein composition during 72 hours of germination under optimal conditions. The results showed that treatment at 70°C for 15 minutes produced the best viability with a germination rate of $\pm 80\%$ /day and a GRI of ± 80 . Germination for 72 hours increased the carbohydrate content to 43.13%, crude protein to 37.16%, and optimally modified the soluble protein content in the 72-hour germination duration. These results indicate that scarification and germination can improve the nutritional quality of lamtoro mlanding seeds, strengthening its potential as a local functional food ingredient.

Keywords: dormancy, germination, nutrient bioconversion, scarification.

Pendahuluan

Pemanfaatan sumber daya pangan lokal yang belum tergarap optimal merupakan strategi penting dalam mendukung ketahanan pangan dan diversifikasi konsumsi, terutama di negara tropis seperti Indonesia. Salah satu sumber daya yang berpotensi namun kurang dimanfaatkan adalah biji lamtoro mlanding (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), sejenis leguminosa pohon yang tumbuh cepat, tahan kekeringan, dan tersebar luas di berbagai wilayah Indonesia (Ishihara et al., 2016). Selama ini, biji lamtoro tua lebih banyak dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau bahkan terbuang sebagai limbah pertanian karena dianggap keras, sulit dicerna, dan memiliki rasa pahit serta aroma khas yang kurang disukai. Padahal, biji lamtoro mengandung nutrisi makro yang sangat menjanjikan, terutama protein nabati dengan kisaran kandungan hingga 30–40% (Aquino-González et al., 2023), menjadikannya kandidat potensial sebagai bahan pangan tinggi protein yang ekonomis.

Dalam konteks pangan fungsional, biji-bijian dari keluarga Fabaceae termasuk lamtoro bukan hanya berfungsi sebagai sumber energi dan protein, tetapi juga mengandung komponen bioaktif seperti antioksidan, serat larut, dan peptida fungsional yang dapat memberikan efek fisiologis positif terhadap kesehatan manusia (Martineau-Côté et al., 2022). Namun demikian, pemanfaatan biji lamtoro tua sebagai pangan manusia masih terkendala oleh beberapa faktor, terutama adanya dormansi fisiologis yang tinggi akibat struktur kulit biji yang sangat keras (impermeabel terhadap air) serta keterbatasan pengetahuan masyarakat dalam mengolahnya menjadi produk pangan yang aman dan bernilai gizi tinggi (Dhanda dan Chauhan, 2022).

Salah satu pendekatan untuk mengatasi kendala dormansi dan memicu aktivasi metabolisme biji adalah melalui proses skarifikasi, yaitu perlakuan awal (*pre-treatment*) yang ditujukan untuk melunakkan atau membuka permeabilitas kulit biji agar proses imbibisi air dan pertukaran gas dapat berlangsung secara optimal (Rachma et al., 2022). Skarifikasi termal, menggunakan air panas pada suhu dan durasi tertentu, merupakan metode yang relatif murah dan mudah diaplikasikan pada skala rumah tangga maupun industri kecil (Tahing et al., 2024). Proses ini tidak hanya berpengaruh pada viabilitas dan kecepatan perkecambahan, tetapi juga dapat memodifikasi kandungan biokimia biji. Aktivasi enzim selama proses perkecambahan pasca-skarifikasi dapat mendorong hidrolisis makronutrien kompleks menjadi bentuk yang

lebih sederhana dan bioavailable, seperti peningkatan protein terlarut melalui aktivitas protease, serta perubahan fraksi karbohidrat akibat aktivitas amilolitik (Botcha dan Prattipati, 2020). Fenomena ini berimplikasi penting dalam pengembangan produk pangan fungsional yang memiliki nilai gizi lebih tinggi, daya cerna lebih baik, dan potensi manfaat kesehatan tambahan.

Proses optimasi skarifikasi tidak dapat dilepaskan dari pengukuran parameter fisiologis seperti kecepatan perkecambahan dan germination rate index (GRI) yang mencerminkan dinamika dan efisiensi perkembangan awal benih. Kedua parameter ini berkorelasi erat dengan viabilitas benih dan efektivitas perlakuan skarifikasi yang diberikan. Pemilihan kombinasi suhu dan durasi skarifikasi yang tepat sangat menentukan keberhasilan aktivasi metabolisme benih sekaligus menghindari kerusakan pada embrio akibat perlakuan termal yang berlebihan (Sean et al., 2022). Oleh karena itu, integrasi antara kajian fisiologis (viabilitas dan GRI) dengan analisis biokimia (kadar karbohidrat, protein kasar, dan protein terlarut) diperlukan untuk merumuskan strategi optimal dalam pemanfaatan biji lamtoro tua sebagai sumber pangan bergizi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi suhu dan durasi skarifikasi termal terhadap viabilitas benih lamtoro mlanding melalui parameter kecepatan perkecambahan dan germination rate index, serta untuk mengkaji perubahan komposisi gizi utama (karbohidrat, protein kasar, dan protein terlarut) yang terjadi akibat perlakuan tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan teknologi pengolahan awal biji lamtoro sebagai bahan baku pangan fungsional lokal yang murah, bergizi tinggi, dan berpotensi mengurangi limbah pangan berbasis biji-bijian tropis.

Materi dan Metode

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Proses dan Laboratorium Kimia dan Biokimia Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.

Materi

Bahan utama pada penelitian ini adalah biji lamtoro mlanding [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] dari Kabupaten Tuban Jawa Timur, Indonesia. Reagen yang digunakan pada penelitian ini bersifat analytical grade, antara lain kalium natrium tartrat ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Na_2CO_3 , NaOH, Folin-Ciocalteu reagent (SIGMA-F9252), H_2O_2 -Na₂SO₃, H_3BO_3 , BCG-MR, HCl.

Metode

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui 2 tahap, yaitu tahap pertama berupa penentuan suhu dan durasi skarifikasi terbaik berdasarkan parameter kecepatan perkecambahan dan *Germination Rate Index (GRI)* pada perkecambahan biji lamtoro. Tahapan kedua adalah proses perkecambahan dengan suhu dan lama skarifikasi terbaik yang telah didapatkan selama 0, 24, 48, dan 72 jam untuk mengetahui perubahan senyawa gizi biji lamtoro mlanding.

Persiapan Biji Lamtoro Mlanding

Biji lamtoro mlanding disortir, biji-biji yang rusak dan berlubang dibuang. Kemudian biji dikelompokkan berdasarkan ukurannya yaitu sangat kecil, sedang dan besar. Biji yang digunakan adalah biji dengan ukuran sedang, yaitu biji dengan panjang 6-8 mm. Biji lamtoro mlanding yang telah lolos sortasi dicuci cepat sambil dibuang biji-biji yang mengapung dan dikeringkan.

Skarifikasi Biji Lamtoro Mlanding

Sebanyak 20 biji lamtoro mlanding ditimbang dan ditempatkan pada cawan-cawan plastik. Akuades sebanyak 10 ml dengan suhu sesuai perlakuan (50, 70, dan 90° C) dituang ke dalam masing-masing cawan. Cawan kemudian ditutup, dipertahankan suhunya dan dibiarkan selama durasi skarifikasi sesuai perlakuan (5, 10, dan 15 menit) kemudian ditiriskan. Biji yang telah diskarifikasi direndam kembali dengan 10 ml akuades suhu ruang pada masing-masing cawan plastik selama 24 jam untuk proses imbibisi air, kemudian ditiriskan.

Perkecambahan Biji Lamtoro Mlanding

Biji lamtoro mlanding yang telah mengembang karena proses imbibisi ditata di atas alas kertas tisu dan kertas saring kasar yang telah disiram 5 ml akuades pada cawan-cawan plastik (Gambar 1). Setiap 6 jam semua cawan disemprot akuades sebanyak 5 ml dan biji dibalik untuk menjaga kelembaban biji. Biji dinyatakan berkecambah apabila telah muncul bakal akar (radikula) minimal 2 mm (Chinnasamy et al., 2021).



Gambar 1. Penataan Biji Lamtoro Mlanding pada Cawan Selama Perkecambahan

Persentase perkecambahan dianalisis berdasarkan (Darmanti et al., 2015) yaitu jumlah biji berkecambah dihitung dari total jumlah biji pada setiap tray. Persen perkecambahan dihitung dengan persamaan :

$$\% \text{Perkecambahan} = (\text{jumlah biji berkecambah} / \text{jumlah total biji}) \times 100$$

Uji *Germination Rate Index (GRI)*

Biji dinyatakan berkecambah apabila radikula telah menembus kulit biji dengan panjang minimal 2 mm. Data jumlah kumulatif biji berkecambah per hari dicatat dan digunakan untuk menghitung indeks laju perkecambahan (GRI) menggunakan rumus berikut:

$$GRI = \sum \left(\frac{G_t}{T_t} \right)$$

Dimana :

G_t : Jumlah kumulatif biji yang berkecambah pada hari ke- t

T_t : hari ke- t (1, 2, 3, ..., n)

Analisis Kadar Protein Kasar

Analisis kadar protein kasar dilakukan dengan metode Kjeldahl berdasarkan metode AOAC (1995). Kandungan protein kasar dianalisis menggunakan metode Kjeldahl. Sebanyak 0,1 gram sampel dicampur dengan 0,6 gram katalisator protein, kemudian dibungkus dengan kertas saring halus dan dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl. Selanjutnya, sebanyak 3 ml asam sulfat pekat ditambahkan sebagai agen destruksi. Proses destruksi dilakukan di dalam lemari asam selama 2 hingga 3 jam hingga larutan menjadi jernih, kemudian dibiarkan hingga suhu ruang. Setelah dingin, sebanyak 7 ml akuades ditambahkan, dikocok perlahan, dan dituangkan ke dalam alat destilasi. Campuran NaOH–Na₂SO₃ sebanyak 17 ml kemudian ditambahkan ke sistem destilasi, dan uap hasil destilasi ditampung dalam erlenmeyer yang berisi 5 ml larutan penangkap asam borat (H₃BO₃) 4% yang telah ditetaskan 2 tetes indikator campuran bromokresol green–metil merah (BCG–MR). Proses destilasi dilakukan selama 15 menit hingga volume mencapai 80 ml. Destilat yang dihasilkan kemudian dititrasikan menggunakan larutan HCl 0,1 N hingga mencapai titik akhir titrasi yang ditandai dengan perubahan warna menjadi ungu. Kadar protein kasar sampel dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar Protein (\%bb)} = \frac{(\text{ml HCl sampel-blanko}) \times N \text{ HCl} \times 14,008 \times 6,25}{\text{berat sampel awal (mg)}} \times 100$$

$$\text{Kadar Protein (\%bk)} = \frac{\text{kadar protein \%bb}}{(100 - \text{kadar air \%bb})} \times 100$$

Analisis Karbohidrat

Kadar karbohidrat dihitung dengan menggunakan rumus *by difference* sebagai berikut:

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

$$\text{Kadar Karbohidrat (\%bk)} = \frac{\text{kadar karbohidrat \%bb}}{(100 - \text{kadar air \%bb})} \times 100\%$$

Analisis Protein Terlarut

Analisis protein terlarut dilakukan menggunakan metode Lowry yang telah dimodifikasi oleh (Mæhre et al., 2018). Reagen A disiapkan dengan melarutkan 2 gram kalium natrium tartrat (KNaC₄H₄O₆·4H₂O) dan 100 gram natrium karbonat (Na₂CO₃) ke dalam 500 ml larutan NaOH 1N, kemudian diencerkan hingga mencapai volume akhir 1 liter menggunakan air suling. Reagen B dibuat dengan melarutkan 2 gram kalium natrium tartrat dan 1 gram CuSO₄·5H₂O ke dalam campuran 90 ml air dan 10 ml NaOH 1N. Sementara itu, reagen C disiapkan secara harian dengan mencampurkan 1 bagian pereaksi Folin-Ciocalteu dengan 15 bagian air suling.

Proses ekstraksi sampel dilakukan dengan mencampurkan 1 bagian volume sampel dengan 30 bagian volume aquades dalam tabung sentrifus. Campuran ini kemudian dikocok menggunakan waterbath shaker pada suhu 30 °C selama 1 jam, dan dilanjutkan dengan sentrifugasi selama 20 menit. Sebanyak 1 ml supernatan hasil sentrifugasi diencerkan dalam 100 ml aquades. Dari larutan ini, 1 ml diambil dan ditambahkan dengan 0,9 ml reagen A, kemudian diinkubasi pada suhu 50 °C selama 10 menit. Setelah mencapai suhu ruang, larutan diberi tambahan 0,1 ml reagen B, didiamkan selama 10 menit pada suhu kamar, lalu ditambahkan 3 ml reagen C dan dihomogenkan menggunakan vortex. Inkubasi lanjutan dilakukan pada suhu 50 °C selama 10 menit sebelum dilakukan pembacaan absorbansi pada panjang gelombang 650 nm. Kurva standar untuk kuantifikasi dibuat menggunakan larutan standar Bovine Serum Albumin (BSA) dengan prosedur perlakuan yang identik.

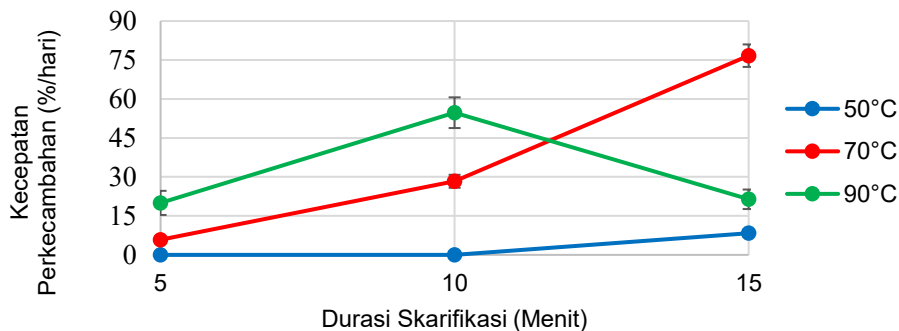
Analisis Data

Data hasil pegujian kemudian dianalisis dengan menggunakan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan taraf signifikansi 5% dan apabila terdapat perbedaan maka dilakukan uji lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Pengolahan data dibantu dengan aplikasi SPSS versi 2.1.

Hasil dan Pembahasan

Kecepatan Perkecambahan

Kecepatan perkecambahan merupakan indikator penting dalam menentukan viabilitas dan dinamika fisiologis benih setelah perlakuan awal, dalam hal ini skarifikasi termal. Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa baik suhu maupun durasi skarifikasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan perkecambahan biji lamtoro mlanding (*Leucaena leucocephala*). Pola umum menunjukkan bahwa perlakuan suhu 70 °C selama 15 menit menghasilkan kecepatan perkecambahan tertinggi ($\pm 80\%$ /hari), yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan perlakuan lain.



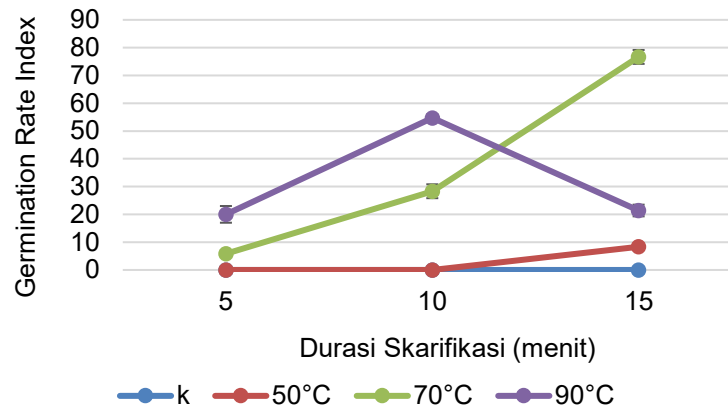
Gambar 2. Grafik kecepatan perkecambahan biji lamtoro mlanding pada suhu dan durasi skarifikasi yang berbeda.

Peningkatan suhu skarifikasi hingga 70 °C secara umum meningkatkan kecepatan perkecambahan, yang kemungkinan besar disebabkan oleh pelemahan struktur fisik kulit biji (testa) yang keras dan impermeabel, seperti halnya hasil penelitian Rachma et al., (2022) yang menghasilkan % perkecambahan tertinggi pada suhu skarifikasi 70 °C. Perlakuan ini diduga berhasil memfasilitasi penyerapan air secara optimal oleh embrio, sehingga proses metabolisme awal seperti aktivasi enzim hidrolitik (amilase, protease) dapat berjalan secara efisien. Hal ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa perlakuan termal pada kisaran suhu moderat dapat memutus lapisan palisade sel pada kulit biji legum, tanpa merusak struktur embrionik internal (Hilooglu et al., 2018). Sebaliknya, perlakuan suhu 50 °C menunjukkan kecepatan perkecambahan yang sangat rendah dan cenderung tidak signifikan meningkat dengan bertambahnya durasi (0–10%/hari). Ini mengindikasikan bahwa pada suhu tersebut, energi termal belum mencukupi untuk mengubah permeabilitas kulit biji secara efektif, sehingga benih tetap mengalami dormansi fisik (Wu & Shen, 2021). Perlakuan ini dapat dianggap suboptimal dari segi efisiensi fisiologis maupun utilisasi dalam skala aplikatif.

Menariknya, pada suhu 90 °C, kecepatan perkecambahan mencapai puncaknya pada durasi 10 menit ($\pm 60\%$ /hari), tetapi justru menurun tajam pada durasi 15 menit. Hal ini menunjukkan adanya ambang batas toleransi termal dari embrio biji terhadap perlakuan suhu tinggi. Durasi yang terlalu lama pada suhu ekstrem dapat menyebabkan denaturasi protein membran sel, peningkatan respirasi tidak efisien, bahkan kerusakan struktur embrionik (Máková et al., 2022). Fenomena ini mengarah pada terjadinya "over-skarifikasi", yang menyebabkan imbibisi tidak efektif atau bahkan kerusakan fisiologis internal, sehingga menurunkan viabilitas benih secara drastis (Side et al., 2021).

Germination Rate Index (GRI)

Germination Rate Index (GRI) merupakan parameter fisiologis penting yang mencerminkan kecepatan dan keserempakan perkecambahan benih dalam merespons perlakuan awal (Saxena et al., 2020). Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa skarifikasi termal memberikan pengaruh signifikan terhadap GRI biji lamtoro mlanding (*Leucaena leucocephala*), dengan variasi yang nyata tergantung pada suhu dan durasi perlakuan. Perlakuan suhu 70 °C selama 15 menit menghasilkan GRI tertinggi (± 80), menunjukkan tingkat viabilitas dan keaktifan fisiologis benih yang paling optimal. Suhu ini cukup efektif dalam melunakkan kulit biji yang keras tanpa menyebabkan kerusakan pada embrio, sehingga memungkinkan imbibisi air dan difusi oksigen berlangsung secara efisien, yang pada gilirannya mengaktifkan proses metabolisme awal perkecambahan (Hilooglu et al., 2018). Sebaliknya, perlakuan suhu 90 °C menunjukkan peningkatan GRI yang signifikan pada durasi 10 menit, namun menurun tajam pada durasi 15 menit. Penurunan ini mengindikasikan bahwa meskipun suhu tinggi dalam durasi pendek mampu mematahkan dormansi dengan cepat, paparan yang terlalu lama dapat menimbulkan kerusakan termal pada jaringan embrio (Herranz et al., 2017). Sementara itu, suhu 50 °C tidak menunjukkan perbedaan berarti dengan kontrol (tanpa perlakuan), menunjukkan bahwa energi termal pada suhu tersebut belum mencukupi untuk memodifikasi permeabilitas kulit biji secara efektif.



Gambar 2. Grafik *Germination Rate Index* perkecambahan biji lamtoro mlanding pada suhu dan durasi skarifikasi yang berbeda

Secara fisiologis, GRI dan kecepatan perkecambahan mencerminkan efektivitas perlakuan skarifikasi dalam mengoptimalkan respon benih terhadap lingkungan lembap dan hangat. Perlakuan skarifikasi termal 70 °C selama 15 menit dapat dianggap sebagai titik optimum karena mampu menyeimbangkan antara peningkatan permeabilitas kulit biji dan perlindungan struktur embrio, menghasilkan viabilitas dan daya kecambah maksimum. Temuan ini konsisten dengan laporan terdahulu pada biji-bijian komoditas tropis lainnya, di mana perlakuan panas moderat jangka pendek memberikan respon perkecambahan terbaik (Alshoaibi, 2021).

Perubahan Kandungan Gizi

Perkecambahan merupakan proses fisiologis kompleks yang memicu berbagai perubahan biokimia dalam biji, terutama pada komponen utama seperti karbohidrat, protein kasar, dan protein terlarut. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa selama proses perkecambahan selama 72 jam, terjadi perubahan signifikan terhadap ketiga parameter gizi utama pada biji lamtoro mlanding [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit]. Perubahan ini merefleksikan dinamika aktivitas enzimatik yang diaktifkan pasca imbibisi air dan pencetus metabolisme respirasi aerobik.

Tabel 1. Perubahan Kandungan Gizi Biji Lamtoro Mlanding selama Proses Perkecambahan

Durasi Perkecambahan	Karbohidrat (%)	Protein Kasar (%)	Protein Terlarut (%)
Segar	32,04±0,26d	33,82±0,00d	33.4±0,19b
0 Jam	37,94±1,15c	34,00±0,26c	34.7±0,09a
24 Jam	41,36±0,76b	34,34±0,14c	27.5±0,22d
48 Jam	43,13±0,89a	35,50±0,47b	25.1±0,05e
72 Jam	41,38±0,19b	37,16±0,02a	31.5±0,14c

Keterangan: *Superskrip huruf kecil yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Kadar karbohidrat menunjukkan peningkatan signifikan dari kondisi segar ($32,04 \pm 0,26\%$) hingga mencapai puncak pada 48 jam ($43,13 \pm 0,89\%$), kemudian sedikit menurun pada 72 jam ($41,38 \pm 0,19\%$). Peningkatan ini mengindikasikan terjadinya transformasi senyawa cadangan seperti hemiselulosa atau galaktomannan menjadi bentuk gula sederhana yang dapat terdeteksi oleh metode analisis. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Agustia et al., 2023) yang melaporkan peningkatan kadar karbohidrat total pada biji koro pedang selama 48 jam perkecambahan, sebelum menurun akibat konsumsi substrat untuk respirasi. Fenomena penurunan pada 72 jam dapat dikaitkan dengan peningkatan konsumsi gula oleh embrio untuk mendukung elongasi radikula dan plumula, yang juga dilaporkan oleh (Ciereszko, 2018).

Sebaliknya, kandungan protein kasar mengalami peningkatan bertahap seiring waktu, dari 33,82% (biji segar) menjadi 37,16% setelah 72 jam perkecambahan. Peningkatan ini dapat disebabkan oleh dua mekanisme utama, yaitu pemecahan cadangan nitrogen menjadi asam amino bebas dan peptida oleh aktivitas enzim proteolitik, serta hilangnya massa kering total akibat respirasi dan transpirasi, sehingga terjadi peningkatan konsentrasi relatif protein (Liang et al., 2023). Hasil ini selaras dengan penelitian Lumbu et al. (2018) dimana pada 36 jam perkecambahan biji jagung, terjadi peningkatan kandungan protein kasar yang signifikan.

Sementara itu, kandungan protein terlarut menunjukkan dinamika yang tidak linier. Nilai tertinggi tercatat pada 0 jam ($34,7 \pm 0,09\%$), kemudian menurun tajam hingga $25,1 \pm 0,05\%$ pada 48 jam, sebelum meningkat kembali pada 72 jam menjadi $31,5 \pm 0,14\%$. Penurunan awal kemungkinan besar mencerminkan degradasi protein cadangan menjadi bentuk non-terlarut atau intermediat metabolik yang tidak terdeteksi oleh metode analisis (Bera et al., 2023). Kenaikan kembali pada 72 jam dapat dikaitkan dengan peningkatan sintesis protein baru, termasuk enzim-enzim fungsional seperti rubisco, protease, dan enzim respirasi (Zaynab et al., 2017). Temuan ini mengindikasikan bahwa waktu perkecambahan optimal untuk memaksimalkan kandungan protein terlarut adalah antara 0–24 jam, sedangkan untuk peningkatan total protein kasar, waktu optimum adalah 72 jam.

Peningkatan kandungan protein kasar selama proses perkecambahan tidak serta-merta mencerminkan peningkatan fraksi protein yang terlarut, karena tidak seluruh protein kasar bersifat larut dalam medium berair (Chen et al.,

2017). Protein kasar mencakup total nitrogen yang berasal dari semua bentuk protein, baik yang terlarut maupun yang tersuspensi atau terikat dalam matriks jaringan benih (Chrenková et al., 2014). Selama perkecambahan, aktivasi enzim proteolitik memecah protein cadangan menjadi peptida dan asam amino, sebagian di antaranya larut dan berperan dalam sintesis protein fungsional baru (Barduche et al., 2018). Namun, fluktuasi kadar protein terlarut yang sempat menurun pada 24–48 jam dan meningkat kembali pada 72 jam menunjukkan bahwa sebagian besar asam amino hasil degradasi telah digunakan untuk biosintesis protein struktural atau enzim, yang tidak larut dan tidak terdeteksi oleh metode Lowry. Oleh karena itu, meskipun kandungan protein kasar meningkat, hal ini tidak secara langsung berkorelasi dengan tingginya kadar protein terlarut, karena perbedaan sifat fisikokimia dan peran metabolisme selama proses perkecambahan.

Secara keseluruhan, perubahan kandungan gizi ini menunjukkan bahwa perkecambahan biji lamtoro mlanding tidak hanya meningkatkan viabilitas dan nilai fisiologis benih, tetapi juga mengarah pada modifikasi nilai gizi yang signifikan, mendukung pengembangan produk pangan fungsional berbasis biji berkecambah. Perbandingan dengan berbagai studi terkini menunjukkan bahwa karakteristik respon gizi biji lamtoro mlanding terhadap perkecambahan sangat sejalan dengan legum tropis lainnya, dan dapat menjadi alternatif strategis sumber protein nabati lokal. Optimalisasi waktu perkecambahan menjadi krusial dalam menentukan parameter gizi dominan yang diinginkan dalam formulasi produk pangan.

Kesimpulan

Skarifikasi termal terbukti efektif dalam meningkatkan viabilitas benih lamtoro mlanding melalui peningkatan kecepatan perkecambahan dan *Germination Rate Index* (GRI). Perlakuan optimal diperoleh pada suhu 70 °C selama 15 menit, yang menghasilkan kecepatan perkecambahan dan GRI tertinggi secara signifikan dibandingkan perlakuan lain. Selain itu, proses perkecambahan selama 72 jam setelah skarifikasi menunjukkan perubahan nyata pada komposisi kimia biji, yakni peningkatan kandungan karbohidrat dan protein kasar, serta optimalnya kandungan protein terlarut. Hasil ini menunjukkan bahwa biji lamtoro mlanding tua, yang selama ini kurang dimanfaatkan, memiliki potensi besar sebagai bahan baku pangan fungsional tinggi protein setelah melalui proses skarifikasi dan perkecambahan yang terkontrol. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan teknologi pengolahan awal benih legum lokal sebagai sumber pangan alternatif yang bergizi dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Agustia, F. C., Supriyadi, S., Murdiati, A., & Indrati, R. (2023). Germination of jack bean [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.] and its impact on nutrient and anti-nutrient composition. *Food Research*, 7(5), 210–218. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(5\).905](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(5).905)
- Alshoaibi, A. (2021). Seed Germination, Seedling Growth and Photosynthetic Responses to Temperature in the Tropical Tree *Moringa oleifera* and Its Relative Desert, *Moringa peregrina*. *Egyptian Journal of Botany*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/ejbo.2021.63271.1631>
- Aquino-González, L. V., Noyola-Altamirano, B., Méndez-Lagunas, L. L., Rodríguez-Ramírez, J., Sandoval-Torres, S., & Bernal, L. G. B. (2023). Potential of *Leucaena leucocephala* and *Leucaena esculenta* Seeds in Human Nutrition: Composition, Techno-functional Properties, Toxicology and Pretreatment Technologies. *LEGUME RESEARCH - AN INTERNATIONAL JOURNAL*, Of. <https://doi.org/10.18805/LRF-743>
- Barduche, D., Livramento, K. G. do, Judice, W. A. S., Paiva, L. V., Neto, L. J., & Guimarães, R. M. (2018). Proteolysis in the Subtropical Woody Tree *Anadenanthera colubrina* (Angico) Seeds during and after Germination. *American Journal of Plant Sciences*, 09(06), 1169–1190. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.96088>
- Bera, I., O'Sullivan, M., Flynn, D., & Shields, D. C. (2023). Relationship between Protein Digestibility and the Proteolysis of Legume Proteins during Seed Germination. *Molecules*, 28(7), 3204. <https://doi.org/10.3390/molecules28073204>
- Botcha, S., & Prattipati, S. (2020). Role of amylase and protease in germinating *Sterculia urens* & *Roxb. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 55(2), 107–112. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v55i2.47631>
- Chen, X., Tume, R. K., Xu, X., & Zhou, G. (2017). Solubilization of myofibrillar proteins in water or low ionic strength media: Classical techniques, basic principles, and novel functionalities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(15), 3260–3280. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1110111>
- Chinnasamy, G. P., Sundareswaran, S., Renganayaki, P. R., & Vetrivel, M. (2021). Radicle emergence test as a quick vigour test to predict field emergence performance in rice (*Oryza sativa* L.) seed lots. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(SI), 86–93. <https://doi.org/10.31018/jans.v13iSI.2805>
- Chrenková, M., Čerešňáková, Z., Weisbjerg, M. R., Formelová, Z., Poláčíková, M., & Vondráková, M. (2014). Characterization of proteins in feeds according to the CNCPS and comparison to in situ parameters. *Czech Journal of Animal Science*, 59(6), 288–295. <https://doi.org/10.17221/7499-CJAS>
- Ciereszko, I. (2018). Regulatory roles of sugars in plant growth and development. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 87(2). <https://doi.org/10.5586/asbp.3583>
- Darmanti, S., Santosa, S., Dewi, K., & Nugroho, L. H. (2015). Allelopathic Effect of *Cyperus rotundus* L. on Seed Germination and Initial Growth of *Glycine max* L. cv. Grobogan. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 17(2), 61. <https://doi.org/10.14710/bioma.17.2.61-67>
- Dhanda, S., & Chauhan, B. S. (2022). Seed germination ecology of *leucaena* (*Leucaena leucocephala*) as influenced by various environmental parameters. *Weed Science*, 70(3), 335–340. <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.18>

- Herranz, J. M., Copete, E., Copete, M. A., Márquez, J., & Ferrandis, P. (2017). Dormancy induction by summer temperatures and/or desiccation in imbibed seeds of trumpet daffodils *Narcissus alcaracensis* and *N. longispathus* (Amaryllidaceae). *Plant Biology*, 19(1), 46–52. <https://doi.org/10.1111/plb.12467>
- Hilooglu, M., Sozen, E., Yucel, E., & Kandermir, A. (2018). Chemical Applications, Scarification and Stratification Effects on Seed Germination of Rare Endemic *Verbascum calycosum* Hausskn. ex Murb. (Scrophulariaceae). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2), 376–380. <https://doi.org/10.15835/nbha46210746>
- Ishihara, K. L., Honda, M. D., Pham, D. T., & Borthakur, D. (2016). Transcriptome analysis of *Leucaena leucocephala* and identification of highly expressed genes in roots and shoots. *Transcriptomics: Open Access*, 4(1). <https://doi.org/10.4172/2329-8936.1000135>
- Kurniawan Lombu, W., Wayan Wisaniyasa, N., Sri Wiadnyani, A., Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Pertanian UNUD, M., & Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Pertanian UNUD, D. (2018). *Perbedaan karakteristik kimia dan daya cerna pati tepung jagung dan tepung kecambah jagung (Zea mays L.)* (Vol. 7, Issue 1).
- Liang, G., Hua, Y., Chen, H., Luo, J., Xiang, H., Song, H., & Zhang, Z. (2023). Increased nitrogen use efficiency via amino acid remobilization from source to sink organs in *Brassica napus*. *The Crop Journal*, 11(1), 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.05.011>
- Máková, K., Prabhullachandran, U., Štefková, M., Spyroglou, I., Pěňčík, A., Endlová, L., Novák, O., & Robert, H. S. (2022). Long-Term High-Temperature Stress Impacts on Embryo and Seed Development in *Brassica napus*. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.844292>
- Mæhre, H., Dalheim, L., Edvinsen, G., Elvevoll, E., & Jensen, I.-J. (2018). Protein Determination—Method Matters. *Foods*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.3390/foods7010005>
- Martineau-Côté, D., Achouri, A., Karboune, S., & L'Hocine, L. (2022). Faba Bean: An Untapped Source of Quality Plant Proteins and Bioactives. *Nutrients*, 14(8), 1541. <https://doi.org/10.3390/nu14081541>
- Rachma, Y. A., Indrati, R., & Supriyadi, S. (2022). Karakteristik Perkecambahan Biji Lamtoro [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] pada Perlakuan Skarifikasi serta Perubahan Nilai Gizi Setelah Perkecambahan. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 7(1), 11–19. <https://doi.org/10.14710/baf.7.1.2022.11-19>
- Saxena, H., Mohammad, N., Parihar, S., & Kumar, S. (2020). Effect of seed treatments and potting medium on seed germination parameters in threatened *Stereospermum suaveolens* (Roxb.) DC. – A dashmool species. *Environment Conservation Journal*, 21(1 & 2), 187–192. <https://doi.org/10.36953/ECJ.2020.211225>
- Sean, M. C., Brian, J. P., & S., C. M. (2022). Substrate temperature and seed scarification on germination parameters of butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.). *Journal of Horticulture and Forestry*, 14(4), 49–55. <https://doi.org/10.5897/JHF2022.0700>
- Side, T. H. R., Mastuti, R., & Widiani, A. R. (2021). The Effectiveness of Scarification Technique to Break Dormancy Kenaf Seed (*Hibiscus cannabinus* L.). *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 27(1), 34. <https://doi.org/10.21082/jlitri.v27n1.2021.34-43>
- Tahing, A., Semang, A., & Vertygo, S. (2024). The Effect of Hot Water Scarification Duration on Germination and Growth of *Indigofera zollingeriana* Seeds. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2), 318–324. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6848>
- Wu, Y., & Shen, Y. (2021). Dormancy in *Tilia miqueliana* is attributable to permeability barriers and mechanical constraints in the endosperm and seed coat. *Brazilian Journal of Botany*, 44(3), 725–740. <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00749-1>
- Zaynab, M., Kanwal, S., Furqan, M., Islam, W., Noman, A., Ali, G. M., Rehman, N., Zafar, S., Sughra, K., & Jahanzab, M. (2017). Proteomic approach to address low seed germination in *Cyclobalanopsis gilva*. *Biotechnology Letters*, 39(10), 1441–1451. <https://doi.org/10.1007/s10529-017-2393-3>