



AGROPROSS
National Conference
Proceedings of Agriculture

Prosiding
Seminar dan Bimbingan Teknis Pertanian Politeknik Negeri Jember 2026
Pertanian Masa Depan Indonesia 2045 : Transformasi Teknologi, Ketahanan Pangan dan Adaptasi terhadap Tantangan Global
3 Juni 2026

Publisher:
Agropross, National Conference Proceedings of Agriculture
E-ISSN:2964-0172
DOI:

Analisis Laju Respirasi Dan Kuosien Respirasi Pada Perkecambahan Kacang Hijau (*Phaseolus radiatus*) dan Kacang Jobo (*Phaseolus vulgaris*) Menggunakan Teknik Manometer Warburg

*Analysis of Respiration Rate and Respiratory Quotient in the Germination of Mung Beans (*Phaseolus radiatus*) and Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*) Using the Warburg Manometer Technique*

Author(s): Setyo Andi Nugroho*, Yohana Azaria Kiesha Widyaningrum, Siti Ismuamalia, Ramadhan Taufika, Devina Cinantya Anindita, Eva Rosdiana

Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

*Corresponding author: andi1746@polije.ac.id

ABSTRAK

Produksi kacang hijau di Indonesia pada tahun 2024 mencapai sekitar 234 ribu ton, sedangkan produksi kacang merah dunia mencapai lebih dari 28 juta ton per tahun. Tingginya produksi kedua jenis kacang tersebut menunjukkan pentingnya tanaman leguminosa sebagai sumber protein nabati sehingga perlu dilakukan kajian fisiologis, terutama pada fase perkecambahan. Penelitian bertujuan menganalisis laju respirasi dan kuosien respirasi pada perkecambahan kacang hijau (*Phaseolus radiatus*) dan kacang jobo (*Phaseolus vulgaris*) menggunakan teknik manometer Warburg. Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor yaitu jenis kacang dengan empat kali ulangan. Parameter yang diamati meliputi volume konsumsi oksigen (O_2), produksi karbon dioksida (CO_2), laju respirasi, dan kuosien respirasi (RQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kacang jobo memiliki aktivitas respirasi lebih tinggi dibandingkan kacang hijau dengan konsumsi O_2 sebesar 0,055 mL, produksi CO_2 sebesar 0,053 mL, laju respirasi sebesar 0,0018 mL/menit, dan nilai RQ sebesar 0,973. Sementara itu, kacang hijau memiliki konsumsi O_2 sebesar 0,031 mL, produksi CO_2 sebesar 0,013 mL, laju respirasi sebesar 0,0010 mL/menit, dan nilai RQ sebesar 0,426.

Kata Kunci:

Kacang Hijau;
Kacang Jobo;
Kuosien Respirasi;
Laju Respirasi;
Manometer Warburg

Keywords:

Kidney Bean;
Mung Bean;
Respiration Rate;
Respiratory Quotient;
Warburg Manometer

ABSTRACT

Indonesia's mung bean production in 2024 reached approximately 234 thousand tons, while global kidney bean production exceeded 28 million tons annually. The high production of both legumes indicates their importance as plant-based protein sources, requiring physiological studies during germination. This study aimed to analyze the respiration rate and respiratory quotient of mung bean (*Phaseolus radiatus*) and kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) germination using the Warburg manometer technique. The study employed a laboratory experimental method with a Completely Randomized Design (CRD) consisting of one factor with four replications. Parameters observed included oxygen consumption (O_2), carbon dioxide production (CO_2), respiration rate, and respiratory quotient (RQ). The results showed that kidney bean germination had higher respiratory activity than mung bean germination with O_2 consumption of 0.055 mL, CO_2 production of 0.053 mL, respiration rate of 0.0018 mL/minute, and an RQ value of 0.973. Meanwhile,





mung bean germination showed O_2 consumption of 0.031 mL, CO_2 production of 0.013 mL, respiration rate of 0.0010 mL/minute, and an RQ value of 0.426.

PENDAHULUAN

Produksi kacang hijau di Indonesia pada tahun 2024 mencapai sekitar 234 ribu ton dengan tingkat konsumsi yang terus meningkat setiap tahun seiring tingginya kebutuhan masyarakat terhadap sumber protein nabati (Badan Pusat Statistik, 2024; Nugroho *et al.*, 2022). Kacang jobo atau kacang merah (*Phaseolus vulgaris*) juga memiliki tingkat konsumsi yang tinggi di Indonesia. Berdasarkan data Food and Agriculture Organization (FAO), produksi kacang merah dunia mencapai lebih dari 28 juta ton per tahun, sedangkan di Indonesia kebutuhan kacang merah terus meningkat seiring berkembangnya industri pangan dan pola konsumsi masyarakat terhadap makanan bergizi tinggi (FAO, 2023). Tingginya produksi dan konsumsi kedua jenis kacang tersebut menunjukkan bahwa tanaman leguminosa memiliki nilai ekonomi dan gizi yang penting sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai aspek fisiologisnya, terutama pada tahap perkecambahan.

Perkecambahan merupakan tahap awal pertumbuhan tanaman yang ditandai dengan aktifnya kembali proses metabolisme pada biji setelah mengalami dormansi. Pada fase ini, respirasi menjadi proses fisiologis utama karena energi hasil respirasi digunakan untuk pembelahan sel, sintesis protein, aktivitas enzim, dan pertumbuhan embrio menjadi kecambah. Aktivitas respirasi pada biji yang berkecambah berlangsung sangat intensif karena adanya peningkatan kebutuhan energi dalam bentuk adenosin trifosfat (ATP). Semakin tinggi laju respirasi, maka semakin besar energi yang dihasilkan untuk menunjang pertumbuhan awal tanaman (Rajab 2016; Lasopo *et al.*, 2024).

Kacang hijau (*Phaseolus radiatus*) dan kacang jobo (*Phaseolus vulgaris*) dipilih dalam

penelitian ini karena keduanya memiliki kandungan cadangan makanan yang tinggi namun berbeda dalam komposisi nutrisi dan karakter fisiologis. Kacang hijau mengandung karbohidrat sekitar 62–63%, protein 20–24%, dan lemak sekitar 1–1,5%, sedangkan kacang merah memiliki kandungan protein sekitar 22–24%, serat lebih tinggi, dan kandungan lemak lebih besar dibandingkan kacang hijau (FAO, 2023). Perbedaan kandungan cadangan makanan tersebut diduga mempengaruhi jenis substrat yang digunakan selama respirasi sehingga menyebabkan perbedaan laju respirasi dan kuosien respirasi selama proses perkecambahan.

Respirasi proses penguraian senyawa organik untuk menghasilkan energi melalui penggunaan oksigen (O_2) dan pelepasan karbon dioksida (CO_2). Respirasi aerob, glukosa akan dioksidasi menghasilkan ATP, CO_2 , dan H_2O . Perbandingan antara jumlah CO_2 yang dihasilkan dengan jumlah O_2 yang digunakan disebut kuosien respirasi dapat menunjukkan jenis substrat utama yang digunakan selama respirasi. Nilai RQ mendekati 1 menunjukkan penggunaan karbohidrat sebagai substrat utama, sedangkan nilai RQ kurang dari 1 menunjukkan dominasi penggunaan lemak atau protein (Taiz *et al.*, 2022).

Pengukuran laju respirasi dan kuosien respirasi pada penelitian ini menggunakan teknik manometer Warburg. Metode ini dipilih karena memiliki sensitivitas tinggi dalam mengukur perubahan volume gas akibat proses respirasi. Teknik Warburg bekerja berdasarkan perubahan tekanan gas dalam ruang tertutup akibat konsumsi O_2 dan produksi CO_2 selama proses respirasi berlangsung (Isrul *et al.*, 2025). Penggunaan larutan KOH dalam alat Warburg memungkinkan CO_2 yang dihasilkan

diserap sehingga perubahan tekanan terutama disebabkan oleh penggunaan oksigen. Dengan demikian, teknik ini mampu menghasilkan data kuantitatif mengenai aktivitas respirasi secara lebih akurat (Isdadiyanto *et al.*, 2024; Puspitasari *et al.*, 2024). Penelitian ini bertujuan memberikan informasi ilmiah mengenai hubungan antara kandungan cadangan makanan, aktivitas metabolisme, dan proses perkecambahan, serta menjadi sumber pembelajaran dalam kajian fisiologi tumbuhan khususnya respirasi sel.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Tanaman Politeknik Negeri Jember (Polije). Penelitian dilaksanakan selama ± 3 bulan, dimulai dari tahap persiapan hingga analisis data.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi manometer Warburg, water bath (penangas air), termometer, timbangan analitik, pipet ukur 1 mL, cawan petri, pinset, stopwatch, tissue, pinset, gelas ukur, dan kertas saring Whatman No.1.

Bahan yang digunakan terdiri atas benih kacang hijau (*Phaseolus radiatus*), benih kacang jobo (*Phaseolus vulgaris*), larutan KOH 10%, aquades, serta campuran vaselin dan lanolin dengan perbandingan 1:1 sebagai perekat sambungan alat.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis laju respirasi dan kuosien respirasi pada perkecambahan kacang hijau (*Phaseolus radiatus*) dan kacang jobo (*Phaseolus vulgaris*) menggunakan teknik manometer Warburg. Penelitian dilakukan dengan membandingkan konsumsi oksigen (O_2) dan produksi karbon dioksida (CO_2) dari kedua jenis kecambah selama proses respirasi berlangsung. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu jenis kecambah yang terdiri atas dua perlakuan:

1. P1 = Perkecambahan kacang hijau (*Phaseolus radiatus*)

2. P2 = Perkecambahan kacang jobo (*Phaseolus vulgaris*)

Masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 4 kali ulangan

Langkah Kerja

- a. Biji kacang hijau dan kacang jobo direndam selama ± 12 jam, kemudian dikecambahkan menggunakan cawan petri yang telah dilapisi kertas saring lembap selama 2–3 hari hingga muncul radikula sepanjang ± 1 cm.
- b. Kecambah yang telah tumbuh dipilih dengan ukuran yang seragam, kemudian masing-masing ditimbang sebanyak 1 gram menggunakan timbangan analitik.
- c. Cairan pada manometer Warburg diatur pada posisi skala 100 mm, kemudian sambungan gelas diolesi campuran vaselin dan lanolin agar sistem tertutup rapat dan tidak terjadi kebocoran udara.
- d. Sebanyak 0,2 mL larutan KOH 10% dimasukkan ke dalam tabung tengah Warburg menggunakan pipet ukur. Larutan KOH berfungsi menyerap CO_2 hasil respirasi.
- e. Sampel kecambah dimasukkan ke dalam tabung utama Warburg bersama potongan kertas saring Whatman No.1 yang telah dilembapkan.
- f. Tabung Warburg dipasang pada manometer kemudian dimasukkan ke dalam water bath bersuhu $30^\circ C$ selama 10 menit untuk proses penyesuaian suhu.
- g. Setelah proses adaptasi selesai, sistem ditutup rapat dan perubahan skala cairan manometer diamati setiap 5 menit selama 30 menit.
- h. Data perubahan tekanan gas dicatat untuk menghitung volume konsumsi O_2 , produksi CO_2 , dan kuosien respirasi.

Pengamatan Pengamatan

Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi:

1. Volume konsumsi oksigen (O_2)
Volume oksigen yang digunakan selama respirasi diukur berdasarkan

- perubahan skala cairan pada manometer Warburg.
2. Volume produksi karbon dioksida (CO₂)
Volume karbon dioksida dihitung berdasarkan perubahan tekanan gas selama proses respirasi berlangsung.
 3. Laju respirasi
Laju respirasi ditentukan berdasarkan jumlah O₂ yang digunakan per satuan waktu selama pengamatan.
 4. Kuosien respirasi (*Respiratory Quotient/RQ*)
Nilai kuosien respirasi dihitung menggunakan rumus:

$$RQ = \frac{CO_2}{O_2}$$

Keterangan:

RQ = Kuosien respirasi

CO₂ = Volume karbon dioksida yang dihasilkan

O₂ = Volume oksigen yang digunakan

Interpretasi nilai RQ:

- RQ = 1 menunjukkan substrat respirasi berupa karbohidrat
- RQ < 1 menunjukkan substrat respirasi berupa lemak atau protein
- RQ > 1 menunjukkan substrat respirasi berupa asam organik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Konsumsi O₂ dan Produksi CO₂

Kacang jobo (*Phaseolus vulgaris*) menunjukkan rata-rata volume konsumsi oksigen (O₂) dan produksi karbon dioksida (CO₂) yang lebih tinggi dibandingkan kacang hijau (*Phaseolus radiatus*). Kacang jobo memiliki volume konsumsi O₂ sebesar 0,055 mL dan produksi CO₂ sebesar 0,053 mL, sedangkan kacang hijau hanya menunjukkan konsumsi O₂ sebesar 0,031 mL dan produksi CO₂ sebesar 0,013 mL. Tingginya konsumsi oksigen pada kacang jobo menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme selama perkecambahan berlangsung lebih aktif dibandingkan kacang hijau.

Peningkatan konsumsi oksigen selama perkecambahan terjadi karena biji mulai mengaktifkan kembali proses metabolisme setelah fase dormansi. Oksigen digunakan dalam respirasi aerob untuk mengoksidasi cadangan makanan sehingga menghasilkan energi dalam bentuk ATP yang diperlukan untuk pembelahan sel, pertumbuhan embrio, dan pembentukan jaringan baru. Menurut Bewley *et al.* (2013), respirasi merupakan proses fisiologis utama selama perkecambahan karena energi hasil respirasi digunakan untuk mendukung pertumbuhan kecambah pada fase awal perkembangan.

Tabel 1. Volume Konsumsi O₂ dan Produksi CO₂ pada Kacang Hijau dan Kacang Jobo

Perlakuan	Volume O ₂ (ml)	Volume CO ₂ (ml)
Kacang hijau (<i>Phaseolus radiatus</i>)	0,031 ± 0,001 ^a	0,013 ± 0,001 ^a
Kacang jobo (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	0,055 ± 0,001 ^b	0,053 ± 0,001 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf 5%.

Tingginya volume konsumsi O₂ dan produksi CO₂ pada kacang jobo diduga dipengaruhi oleh ukuran biji dan kandungan cadangan makanan yang lebih besar dibandingkan kacang hijau. Kacang jobo memiliki kandungan protein dan karbohidrat yang lebih tinggi sehingga proses penguraian cadangan makanan berlangsung lebih intensif. Menurut Taiz *et al.* (2022), semakin besar cadangan makanan pada biji maka aktivitas respirasi akan meningkat karena sel membutuhkan energi lebih besar untuk mengaktifkan metabolisme dan pertumbuhan embrio. Kandungan nutrisi, proses imbibisi air

juga mempengaruhi aktivitas respirasi selama perkecambahan. Air yang masuk ke dalam biji akan mengaktifkan enzim hidrolitik seperti amilase, protease, dan lipase yang berperan dalam menguraikan cadangan makanan menjadi senyawa sederhana. Senyawa tersebut kemudian digunakan dalam proses respirasi seluler untuk menghasilkan energi. Nonogaki *et al.* (2010) menjelaskan bahwa peningkatan kadar air selama perkecambahan menyebabkan mitokondria kembali aktif sehingga respirasi aerob meningkat secara signifikan.

Perbedaan volume CO₂ yang dihasilkan juga menunjukkan adanya perbedaan tingkat

aktivitas metabolisme pada kedua jenis kecambah. Produksi CO₂ yang lebih tinggi pada kacang jobo menunjukkan bahwa proses oksidasi substrat respirasi berlangsung lebih aktif dibandingkan kacang hijau. Menurut Salisbury dan Ross (1995), jumlah CO₂ yang dihasilkan selama respirasi berkaitan langsung dengan intensitas pemecahan senyawa organik dalam sel.

Pengukuran menggunakan manometer Warburg, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengamatan volume O₂

dan CO₂. Kebocoran pada sambungan alat dapat menyebabkan masuknya udara dari luar sehingga perubahan tekanan gas tidak hanya dipengaruhi oleh respirasi kecambah. Selain itu, ketidakstabilan suhu water bath, dan kesalahan pembacaan skala manometer juga dapat menyebabkan hasil pengukuran menjadi kurang akurat. Oleh karena itu, sistem alat harus dipastikan tertutup rapat dan suhu inkubasi dijaga tetap stabil selama pengamatan berlangsung.

Tabel 2. Laju Respirasi dan Kuosien Respirasi pada Kacang Hijau dan Kacang Jobo

Perlakuan	Laju Respirasi (ml/menit)	Kuosien Respirasi (RQ)	Interpretasi Substrat
Kacang hijau (<i>Phaseolus radiatus</i>)	0,0010 ± 0,0001 ^a	0,426 ± 0,010 ^a	Lemak
Kacang jobo (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	0,0018 ± 0,0001 ^b	0,973 ± 0,009 ^b	Karbohidrat/Protein

Keterangan: Rata-rata ± standar deviasi dari 4 ulangan. Nilai RQ dihitung berdasarkan perbandingan volume CO₂ terhadap volume O₂.

Laju Respirasi dan Kuosien

Laju respirasi perkecambahan kacang jobo sebesar 0,0018 mL/menit lebih tinggi dibandingkan kacang hijau yang hanya sebesar 0,0010 mL/menit. Tingginya laju respirasi kacang jobo menunjukkan bahwa kebutuhan energi selama proses perkecambahan lebih besar dibandingkan kacang hijau. Laju respirasi yang tinggi menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme sel berlangsung lebih intensif sehingga konsumsi oksigen meningkat.

Perbedaan laju respirasi antara kedua jenis kecambah dipengaruhi oleh perbedaan kandungan cadangan makanan dan aktivitas enzimatis selama perkecambahan. Kacang jobo yang memiliki kandungan protein lebih tinggi memerlukan proses katabolisme yang lebih kompleks untuk menghasilkan energi sehingga kebutuhan oksigen menjadi lebih besar. Menurut Nelson dan Cox (2021), proses penguraian protein melibatkan reaksi metabolisme yang lebih panjang dibandingkan karbohidrat sehingga memerlukan energi dan oksigen lebih banyak.

Nilai kuosien respirasi (RQ) pada kacang jobo sebesar 0,973 mendekati 1 menunjukkan bahwa substrat respirasi yang ini merupakan suhu optimum untuk aktivitas enzim respirasi pada sebagian besar tanaman tropis. Menurut Taiz *et al.* (2022),

dominan digunakan adalah karbohidrat dan protein. Salisbury dan Ross (1995) menyatakan bahwa nilai RQ sebesar 1 menunjukkan penggunaan karbohidrat sebagai substrat utama respirasi karena jumlah CO₂ yang dihasilkan sebanding dengan jumlah O₂ yang digunakan. Nilai RQ yang mendekati 1 pada kacang jobo menunjukkan bahwa proses respirasi berlangsung secara aerob dengan pemanfaatan karbohidrat secara dominan.

kacang hijau memiliki nilai RQ sebesar 0,426 yang menunjukkan bahwa substrat respirasi yang digunakan lebih dominan berupa lemak. Menurut Copeland dan McDonald (2001), respirasi lemak menghasilkan nilai RQ kurang dari 1 karena oksidasi asam lemak membutuhkan oksigen lebih besar dibandingkan jumlah karbon dioksida yang dihasilkan (Nugroho *et al.*, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa pada fase awal perkecambahan, kacang hijau masih memanfaatkan cadangan lemak sebagai sumber energi utama.

Laju respirasi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan ketersediaan oksigen (Andriani & Karmila 2019; Septiana *et al.*, 2023). Suhu inkubasi 30°C yang digunakan pada penelitian peningkatan suhu dapat meningkatkan laju respirasi hingga mencapai batas optimum karena aktivitas enzim menjadi lebih cepat.

Namun, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim sehingga respirasi menurun.

Selain faktor lingkungan, ketelitian selama pengukuran juga sangat memengaruhi hasil penelitian. Penggunaan larutan KOH harus dilakukan secara tepat karena KOH berfungsi menyerap CO₂ hasil respirasi (Kanedi 2017). Jika larutan KOH tercecce ke tabung utama, maka jaringan kecambah dapat rusak sehingga aktivitas respirasi menurun. Kesalahan pencatatan waktu pengamatan dan pembacaan skala manometer juga dapat menyebabkan perhitungan laju respirasi dan nilai RQ menjadi tidak akurat. Oleh karena itu, diperlukan ketelitian dan kestabilan kondisi selama proses pengamatan menggunakan teknik manometer Warburg

KESIMPULAN

Perkecambahan kacang jobo (*Phaseolus vulgaris*) memiliki aktivitas respirasi lebih tinggi dibandingkan kacang hijau (*Phaseolus radiatus*), yang ditunjukkan oleh volume konsumsi oksigen (O₂), produksi karbon dioksida (CO₂), dan laju respirasi yang lebih besar. Kacang jobo memiliki rata-rata konsumsi O₂ sebesar 0,055 ml, produksi CO₂ sebesar 0,053 ml, serta laju respirasi sebesar 0,0018 ml/menit dengan nilai kuosien respirasi (RQ) sebesar 0,973 yang menunjukkan bahwa substrat respirasi dominan berupa karbohidrat dan protein. Sementara itu, kacang hijau memiliki rata-rata konsumsi O₂ sebesar 0,031 ml, produksi CO₂ sebesar 0,013 ml, serta laju respirasi sebesar 0,0010 ml/menit dengan nilai RQ sebesar 0,426 yang menunjukkan dominasi penggunaan lemak sebagai substrat respirasi.

DAFTAR PUSTAKA

Andriani, V., & Karmila, R. (2019). Pengaruh temperatur terhadap kecepatan pertumbuhan kacang tolo (*Vigna sp.*). *STIGMA: Jurnal Matematika dan*

Ilmu Pengetahuan Alam Unipa, 12(01), 49-53.

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer.

Badan Pusat Statistik. (2024). *Produksi kacang hijau Indonesia tahun 2024*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id>.

Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). *Principles of seed science and technology* (4th ed.). Springer.

Food and Agriculture Organization. (2023). *FAOSTAT statistical database: Pulses and beans production*. FAO. <https://www.fao.org/faostat>.

Isdadiyanto, S., Nursabrina, A., & Sunarno, S. (2024). Pengaruh biopestisida kulit bawang merah (*Allium cepa*) terhadap laju respirasi jangkrik (*Gryllus bimaculatus*). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 9(2), 158-163.

Isrul, M., Adnan, A., & Islamia, M. N. (2025). Eksplorasi berbagai fungsi mitokondria melalui pendekatan meta-analisis dalam biologi seluler. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 6(2), 301-311.

Kanedi, M. (2017). Alternatif bahan pembungkus kalium hidroksida (KOH) dalam penyerapan O₂ dalam percobaan respirasi. *Jurnal Penelitian Sains*, 19(1), 19104-17.

Lasopo, R., Laode, B., & Wijayanti, D. (2024). Pengaruh Jenis Perendaman Pada Perkecambahan Benih Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris* L.). *Babasal Agromu Journal*, 2(1), 93-101.

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). *Lehninger principles of biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman.

Nugroho, S. A., Setyoko, U., Fatimah, T., & Novenda, I. L. (2022, October). Pengaruh Alelopati Tanaman Gamal (*Glericida manuculata*) Dan Kirinyuh (*Eupatorium odoratum*) Terhadap Perkecambahan Kacang Hijau (*Vigna radiata*). In *Agropross: National Conference Proceedings of Agriculture* (pp. 180-188).

- Nugroho, S. A., Wardana, R., Fatimah, T., Mastuti, L., & Novenda, I. L. (2022). Hidrolisis lemak oleh enzim lipase pada tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*). *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 7(1), 81-89.
- Nonogaki, H., Bassel, G. W., & Bewley, J. D. (2010). Germination—still a mystery. *Plant Science*, 179(6), 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010>.
- Puspitasari, A., Harini, N., & Anggriani, R. (2024). Studi Karakteristik Fisikokimia Tepung Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Germinasi oleh Waktu dan Media Germinasi. *Food Technology and Halal Science Journal*, 7(1), 93-107.
- Rajab, M. A. (2016). Pengaruh pertumbuhan kacang hijau (*Phaseolus radiatus*) dengan perlakuan pemberian media air berbeda. *Jurnal Uncp*, 2(1), 1-10.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1995). *Fisiologi tumbuhan* (Jilid 2). ITB Press.
- Septiana, L. M., Santika, N., Yusraini, S., Buchari, H., Prasetyo, D., Arif, M. S., & Niswati, A. (2023). Laju respirasi tanah pada pertanaman jagung manis (*Zea mays* Saccharata Sturt.) akibat pemberian biochar dan pupuk fosfor di tanah Ultisol. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(2), 299-307.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2022). *Plant physiology and development* (7th ed.). Oxford University Press.