



## OPTIMASI DOSIS PUPUK N, P, DAN K TERHADAP PERTUMBUHAN VEGETATIF AWAL TANAMAN PARIA (*Momordica charantia* L.) DI MEDIA POLIBAG

Dian Novira Rizva<sup>1\*</sup>, Siti Munawaroh<sup>2</sup>, Nur Halimatuz Zuhra<sup>3</sup>, Raihan Dary<sup>4</sup>, Dian Permata Sari Br Surbakti<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Indonesia

<sup>3,4</sup>Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Indonesia

<sup>5</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Indonesia

Email: Diannovirarizva@unsam.ac.id

### Abstract

*This study aims to determine the optimum dosage of Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K) fertilizers to support the growth of Bitter Gourd (*Momordica charantia* L.). The experiment was conducted using a single-factor Completely Randomized Design (CRD), consisting of fertilizer dosage levels at 0%, 25%, 50%, and 75% of the recommended doses (equivalent to 5 g Urea, 4 g SP-36, and 4 g KCl per plant). Observations were made on plant height at 1 and 2 weeks after planting (WAP), number of leaves at 1 and 2 WAP, as well as fresh weight and dry weight. The results indicated that variations in N, P, and K fertilizers dosages significantly influenced all growth parameters. Generally, the treatment at 25% of the recommended dose showed the best results compared to other treatments. Quadratic regression analysis revealed that the optimum dosages for plant height at 1 WAP and 2 WAP were 25.71% ( $R^2 = 0.64$ ) and 19.70% ( $R^2 = 0.53$ ) of the recommended dose, respectively. The optimum dosage for number of leaves at 2 WAP was 15% ( $R^2 = 0.50$ ), while the optimum dosages for fresh weight and dry weight were 8.5% ( $R^2 = 0.56$ ) dan 10.38% ( $R^2 = 0.55$ ) respectively.*

**Keywords:** Bitter Gourd; NPK Dose, Vegetative Growth

### Abstrak

*Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis optimum pupuk nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dalam mendukung pertumbuhan tanaman paria (*Momordica charantia* L.). Percobaan disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu taraf dosis pupuk yang terdiri atas 0%, 25%, 50%, dan 75% dari dosis anjuran (setara 5 g urea, 4 g SP-36, dan 4 g KCl per tanaman). Pengamatan dilakukan terhadap tinggi tanaman umur 1 dan 2 minggu setelah tanam (MST), jumlah daun umur 1 dan 2 MST, serta bobot basah dan bobot kering tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dosis pupuk N, P, dan K berpengaruh nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan. Perlakuan dosis 25% dari anjuran secara umum memberikan hasil terbaik dibandingkan perlakuan lainnya. Analisis regresi kuadratik menunjukkan bahwa dosis optimum untuk tinggi tanaman pada 1 MST dan 2 MST masing-masing sebesar 25,71% ( $R^2 = 0.64$ ) dan 19,70% ( $R^2 = 0.53$ ) dari dosis anjuran. Dosis optimum untuk jumlah daun pada 2 MST sebesar 15% ( $R^2 = 0.50$ ), sedangkan bobot basah dan bobot kering tanaman masing-masing, optimum pada dosis 8,5% ( $R^2 = 0.56$ ) dan 10,38% ( $R^2 = 0.55$ ).*

**Kata Kunci:** Paria; Dosis NPK, Pertumbuhan Vegetative

## 1. Pendahuluan

Tanaman paria (*Momordica charantia* L.) menjadi salah satu komoditas hortikultura unggulan yang dibudidayakan secara meluas di berbagai wilayah Indonesia. Tingginya minat budidaya ini didorong oleh nilai ekonominya yang stabil serta profil manfaat kesehatannya yang sangat luar biasa bagi tubuh manusia. Secara fitokimia, paria kaya akan kandungan vitamin esensial, mineral mikro, serta berbagai senyawa bioaktif seperti saponin yang memiliki potensi besar sebagai antidiabetes alami serta antioksidan untuk menangkal radikal bebas (Jia et al., 2017). Seiring dengan meningkatnya tren gaya hidup sehat dan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya konsumsi pangan fungsional, permintaan pasar terhadap produksi buah paria yang bermutu tinggi, aman konsumsi, dan dihasilkan dari praktik pertanian berkelanjutan diprediksi akan terus mengalami lonjakan yang signifikan. Dalam siklus hidup tanaman paria, fase pertumbuhan vegetatif awal merupakan periode emas sekaligus tahap kritis yang akan menjadi fondasi utama dalam menentukan keberhasilan fase generatif serta total produktivitas tanaman di akhir musim tanam. Agar dapat melewati fase kritis ini dengan maksimal, tanaman sangat bergantung pada ketersediaan dan serapan unsur hara makro yang seimbang, yakni, Nitrogen (N) bertanggung jawab penuh dalam biosintesis klorofil guna mendukung laju fotosintesis serta memacu pertumbuhan biomassa daun dan batang (Farhan et al., 2024). Fosfor (P) berperan vital dalam mendukung perkembangan sistem perakaran yang kuat sejak dini serta menjadi sumber energi utama dalam proses pembelahan sel tanaman (Hu et al., 2025). Kalium (K) berfungsi sebagai regulator dalam pengaturan keseimbangan turgor sel, aktivasi enzim, serta memperlancar metabolisme dan translokasi fotosintat ke seluruh jaringan tanaman (Rawat et al., 2022).

Masalah yang umum terjadi dalam praktik budidaya adalah ketidakseimbangan unsur hara akibat pemberian dosis pupuk yang tidak tepat. Kondisi ini tidak hanya menghambat pertumbuhan tanaman, tetapi juga menurunkan efisiensi produksi melalui pemborosan input serta meningkatkan risiko degradasi lingkungan akibat pencucian residu kimia (Abidin & Rohman, 2020). Pemberian pupuk yang berlebihan dapat memicu akumulasi garam di dalam tanah yang berkontribusi terhadap proses asidifikasi serta mengganggu keseimbangan ekosistem tanah (Syafii et al., 2021). Secara fisiologis, ketidakseimbangan unsur hara berdampak langsung terhadap penurunan produktivitas tanaman melalui terganggunya proses fotosintesis, pertumbuhan vegetatif yang tidak proporsional, serta rendahnya efisiensi pembentukan biomassa dan hasil (Vierira et al., 2025). Di sisi lain, kelebihan unsur hara, khususnya nitrogen dan fosfor, berpotensi mencemari lingkungan melalui proses leaching dan runoff yang dapat menurunkan kualitas tanah dan air, serta meningkatkan emisi gas rumah kaca seperti  $N_2O$  (Denora et al., 2023). Kondisi ini menegaskan bahwa pengelolaan hara yang tidak berimbang tidak hanya berdampak pada penurunan hasil, tetapi juga mengancam keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan (Chaubey et al., 2023). Rekomendasi dosis pupuk yang tersedia saat ini umumnya disusun berdasarkan pengujian pada kondisi lahan terbuka, sehingga efektivitasnya sering kali tidak optimal ketika diterapkan pada sistem budidaya terbatas seperti media polibag. Sistem polibag memiliki karakteristik spesifik, antara lain volume media yang terbatas, kapasitas retensi hara yang berbeda, serta respons tanaman yang lebih sensitif terhadap perubahan konsentrasi nutrisi di zona perakaran (Hidayah et al., 2017).

Oleh karena itu, penerapan dosis pupuk yang hanya mengacu pada standar lahan luas berisiko besar menciptakan ketidakefisienan nutrisi pada sistem polibag. Prinsip pemupukan berimbang perlu menekankan efisiensi dan ketepatan dosis sesuai dengan kebutuhan rill tanaman pada setiap tahap pertumbuhannya. Optimalisasi dosis pupuk menjadi variabel kunci untuk meningkatkan *Nutrient Use Efficiency* (NUE) agar input yang diberikan dapat diserap secara maksimal oleh tanaman tanpa terbuang ke lingkungan (Andualem et al., 2024; Valenzuela, 2024). Sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada sistem budidaya lahan terbuka dan tidak spesifik mengevaluasi efisiensi penggunaan hara pada media terbatas seperti polibag. Selain itu, penelitian yang mengkaji mengenai hubungan antara variasi dosis pupuk kombinasi N, P, dan K dengan fase vegetatif awal dalam sistem polibag masih terbatas. Oleh karenanya, perlu dilakukan sebuah penelitian untuk mengetahui respons pertumbuhan vegetatif awal tanaman paria terhadap berbagai taraf dosis kombinasi pupuk N, P, dan K pada media polibag, hal ini dikarenakan tanaman paria memerlukan input nutrisi yang presisi untuk mencapai pertumbuhan terbaik (Ghimire et al., 2023). Penelitian ini diharapkan mampu menentukan titik dosis optimum yang dapat memberikan pertumbuhan terbaik yang paling efisien.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan polibag, benih paria varietas OPAL F1, pupuk urea, pupuk SP-36, pupuk KCl, timbangan digital, kamera, meteran, dan alat tulis. Perlakuan terdiri dari satu faktor yaitu dosis pupuk N, P, K dengan empat taraf perlakuan diantaranya 0%, 25%, 50%, dan 75% dari dosis rekomendasi (5 g urea, 4 g SP-36, dan 4 g KCl per tanaman). Pemilihan taraf ini bertujuan untuk menggambarkan respons tanaman dari tanpa pemupukan hingga mendekati dosis rekomendasi untuk menentukan pola respons dan kisaran dosis optimum pada fase vegetatif awal. Dalam hal ini, Pendekatan satu faktor dipilih untuk mengevaluasi respons tanaman terhadap tingkat kecukupan hara secara terintegrasi berdasarkan kombinasi dosis pupuk yang diberikan pada sistem budidaya berbasis media terbatas. Percobaan dilakukan dengan lima ulangan, sehingga terdapat 20 unit percobaan. Masing-masing unit percobaan terdiri dari 2 tanaman sampel. Benih paria disemai terlebih dahulu menggunakan tray dengan media tanam arang sekam. Setelah bibit berumur 14 hss kemudian bibit dilakukan pindah tanam ke dalam polybag yang berisi campuran media tanam tanah, pupuk kandang, dan cocopeat. Setelah dilakukan pindah tanam, maka dilakukan pemupukan sesuai dengan dosis masing-masing perlakuan. Pupuk diaplikasikan dengan metode ring placement yaitu dengan menaburkan pupuk melingkari tanaman dengan jarak lurus daun kemudian setelah dipupuk tanah ditutup kembali. Lalu dilakukan pemeliharaan tanaman dengan cara menyiram tanaman sampai kapasitas lapang.

Parameter pengamatan penelitian terdiri dari pengamatan jumlah daun dan tinggi tanaman yang diamati 1 dan 2 minggu setelah tanam (MST) serta pengamatan bobot basah yang dilakukan dengan cara menimbang seluruh bagian tanaman dalam keadaan segar, selanjutnya pengamatan terhadap bobot kering tanaman dengan cara mengeringkan seluruh bagian tanaman hingga bobotnya konstan lalu ditimbang menggunakan timbangan digital. Analisa data pengamatan yang diperoleh dianalisis menggunakan software SPSS 25.0 melalui uji sidik ragam (ANOVA) taraf nyata 5%, kemudian diuji lanjut menggunakan polynomial orthogonal untuk mencari titik optimum dosis pupuk.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi pemberian dosis pupuk N, P, dan K memberikan pengaruh yang nyata terhadap pertumbuhan tanaman paria, yang terlihat pada tinggi tanaman umur 1 dan 2 minggu setelah tanam (MST), jumlah daun pada 2 MST, serta bobot basah dan bobot kering tanaman.

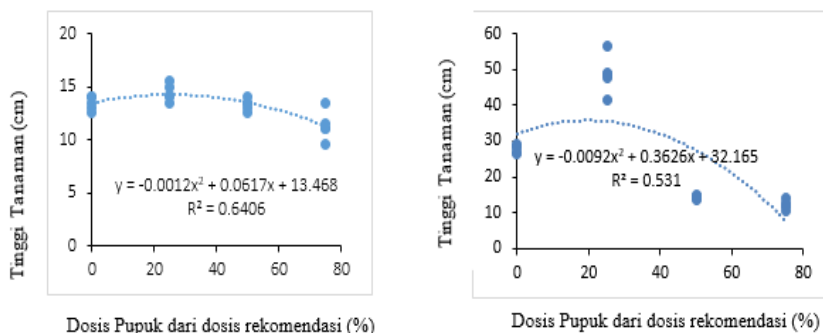
#### Tinggi Tanaman

Pemberian berbagai dosis pupuk N, P, dan K menghasilkan perbedaan yang signifikan secara statistik terhadap tinggi tanaman paria pada 1 MST (minggu setelah tanam) dan 2 MST. Kombinasi pupuk Urea 1,25 g, SP-36 1 g, dan KCl 1 g (25% dari dosis yang direkomendasikan) menghasilkan tinggi tanaman maksimum dibandingkan perlakuan lain yaitu 14,45 cm dan 48,6 cm pada 2 MST (Tabel 1.). Melalui analisis regresi mengenai dosis pupuk terhadap tinggi tanaman pada 1 dan 2 MST, ditemukan titik optimum dosis pupuk masing-masing sebesar 25,71% dan 19,70% dari dosis yang direkomendasikan. Persamaan regresi dosis pupuk terkait tinggi tanaman pada 1 dan 2 MST dapat dilihat pada Gambar 3.

**Tabel 1.** Tinggi tanaman pada 1 dan 2 MST akibat berbagai dosis pemupukan

| Perlakuan  | Umur Tanaman              |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
|  | 1 MST                     | 2 MST                    |
| Tanpa Pupuk  | 13,40 ± 0,29 <sup>a</sup> | 27,8 ± 0,46 <sup>b</sup> |
| Kombinasi pupuk: Urea 1,25 g, SP-36 1 g, dan KCl 1 g | 14,45 ± 0,35 <sup>a</sup> | 48,6 ± 2,39 <sup>a</sup> |
| Kombinasi pupuk: Urea 2,5 g, SP-36 2 g, KCl 2 g      | 13,30 ± 0,25 <sup>a</sup> | 14,3 ± 0,25 <sup>c</sup> |
| Kombinasi pupuk: Urea 3,75 g, SP-36 3 g, KCl 3 g     | 11,30 ± 0,64 <sup>b</sup> | 12,2 ± 0,56 <sup>c</sup> |

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda secara nyata, nilai rata-rata diikuti oleh nilai standar error (s.e. n=5)



**Gambar 1.** Grafik persamaan regresi kuadratik tinggi tanaman 1 dan 2 MST

#### Jumlah Daun

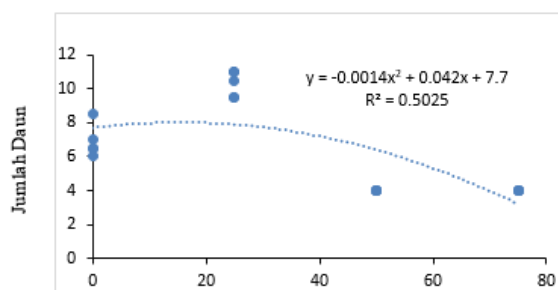
Pemberian berbagai dosis pupuk tidak memberikan perbedaan yang signifikan secara statistik pada jumlah daun 1 MST, tetapi pada jumlah daun 2 MST terdapat perbedaan yang signifikan. Kombinasi pupuk Urea 1,25 g, SP-36 1 g, dan KCl 1 g (25% dari dosis yang direkomendasikan) menghasilkan jumlah daun terbanyak, yaitu 10 daun, dibandingkan dengan perlakuan lainnya (Tabel 2.). Analisis regresi taraf dosis pupuk pada jumlah daun 2 MST, diperoleh titik optimum dosis pupuk sebesar

15% dari dosis rekomendasi. Persamaan regresi dosis pupuk terhadap jumlah daun 2 MST ditampilkan pada Gambar 2.

**Tabel 2.** Jumlah daun pada 1 dan 2 MST akibat berbagai dosis pemupukan

| Perlakuan  | Umur Tanaman |                          |
|--|--------------|--------------------------|
|  | 1 MST        | 2 MST                    |
| Tanpa Pupuk  | 3,90 ± 0,1   | 6,9 ± 0,43 <sup>b</sup>  |
| Kombinasi pupuk: Urea 1,25 g, SP-36 1 g, dan KCl 1 g | 4,00 ± 0,0   | 10,3 ± 0,34 <sup>a</sup> |
| Kombinasi pupuk: Urea 2,5 g, SP-36 2 g, dan KCl 2 g  | 4,00 ± 0,0   | 4,0 ± 0,0 <sup>c</sup>   |
| Kombinasi pupuk: Urea 3,75 g, SP-36 3 g, dan KCl 3 g | 4,00 ± 0,0   | 4,0 ± 0,0 <sup>c</sup>   |

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda secara nyata, nilai rata-rata diikuti oleh nilai standar error (s.e. n=5)



**Gambar 2.** Grafik persamaan regresi kuadratik jumlah daun 2 MST

### Bobot Basah dan Bobot Kering

Aplikasi berbagai dosis pemupukan menyebabkan perbedaan yang nyata secara statistik pada bobot basah dan bobot kering tanaman paria. Kombinasi pupuk Urea 1,25 g, SP-36 1 g, dan KCl 1 g (25% dari dosis rekomendasi) menghasilkan bobot basah dan kering terberat jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya yakni seberat 21,50 g dan 2,22 g secara berturut-turut (Tabel 3.). Analisis regresi taraf dosis pupuk pada bobot basah dan kering, diperoleh titik optimum dosis pupuk sebesar 8,5% dan 10,38% dari dosis rekomendasi secara berturut-turut. Persamaan regresi dosis pupuk pada bobot basah dan kering ditampilkan pada Gambar 3.

**Tabel 3.** Bobot basah dan kering tanaman paria akibat berbagai dosis pemupukan

| Perlakuan  | Bobot Tanaman             |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
|  | Basah (g)                 | Kering (g)               |
| Tanpa Pupuk  | 12,19 ± 0,65 <sup>b</sup> | 1,34 ± 0,08 <sup>b</sup> |
| Kombinasi pupuk: Urea 1,25 g, SP-36 1 g, dan KCl 1 g | 21,50 ± 1,33 <sup>a</sup> | 2,22 ± 0,21 <sup>a</sup> |
| Kombinasi pupuk: Urea 2,5 g, SP-36 2 g, dan KCl 2 g  | 0,89 ± 0,12 <sup>c</sup>  | 0,34 ± 0,05 <sup>c</sup> |
| Kombinasi pupuk: Urea 3,75 g, SP-36 3 g, dan KCl 3 g | 0,70 ± 0,03 <sup>c</sup>  | 0,26 ± 0,03 <sup>c</sup> |

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda secara nyata, nilai rata-rata diikuti oleh nilai standar error (s.e. n=5)



mengkelat logam di dalam sitosol (Alves et al., 2023; Xian et al., 2024). Selain itu, kelebihan P dapat menyebabkan gangguan pada aktivasi enzim Rubisco dan sistem pertahanan terhadap spesies oksigen reaktif, yang pada tingkat ekstrem dapat menyebabkan nekrosis jaringan (Mardamooto et al., 2021). Pada dosis yang lebih tinggi (50% dan 75%), penurunan pertumbuhan tanaman diduga berkaitan dengan peningkatan konsentrasi ion terlarut dalam media yang dapat meningkatkan tekanan osmotik eksternal, sehingga berpotensi menghambat penyerapan air oleh akar. Selain itu, akumulasi ion tertentu dapat menyebabkan ketidakseimbangan ionik (ion toxicity dan antagonisme hara) yang diduga mengganggu stabilitas membran sel dan aktivitas enzim. Kondisi ini mengindikasikan adanya kombinasi stres osmotik dan gangguan ionik yang menurunkan efisiensi penyerapan air dan hara, sehingga berdampak pada penurunan pertumbuhan tanaman (Fujita dan Hasanuzzaman, 2022). Dengan demikian, peningkatan dosis pupuk di atas 25% dari rekomendasi lahan pada media polibag tidak memberikan respons pertumbuhan yang lebih baik karena telah melampaui kebutuhan optimum tanaman pada fase awal vegetatif.

Analisis regresi menunjukkan bahwa titik optimum teoritis berada pada kisaran 8,5% hingga 25,71% dari dosis rekomendasi lahan. Titik optimum bobot basah dan bobot kering yang relatif rendah (8,5% dan 10,38%) mengindikasikan bahwa akumulasi biomassa tanaman paria di media polibag sangat sensitif terhadap peningkatan konsentrasi pupuk. Pemberian pupuk berlebih pada sistem polibag dapat menyebabkan akumulasi garam mineral yang meningkatkan salinitas media dan mengganggu penyerapan air serta unsur hara oleh akar (Gong, 2021). Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa dosis 25% merupakan taraf terbaik di antara perlakuan yang diuji, sementara analisis regresi mengindikasikan bahwa kebutuhan hara aktual pada fase vegetatif awal cenderung berada pada kisaran yang lebih rendah. Temuan ini sejalan dengan prinsip hukum minimum Liebig, bahwa pertumbuhan tanaman dibatasi oleh unsur hara yang tersedia dalam jumlah minimum, dan kelebihan unsur tertentu tidak akan meningkatkan hasil, bahkan berpotensi menimbulkan efek toksik (Marschner, 2012). Dengan demikian, presisi dalam penentuan dosis pupuk menjadi kunci efisiensi pertumbuhan tanaman paria pada sistem budidaya polibag.

#### 4. Simpulan

Pemberian pupuk N, P, dan K dengan berbagai taraf dosis berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan awal tanaman paria (*Momordica charantia* L.), yang ditunjukkan oleh parameter tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah, dan bobot kering tanaman. Dosis pupuk sebesar 25% dari dosis rekomendasi memberikan pertumbuhan terbaik dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hasil analisis regresi kuadratik menunjukkan bahwa dosis optimum pupuk N, P, dan K untuk pertumbuhan awal tanaman paria berada pada kisaran 8,5% hingga 25,71% dari dosis rekomendasi, bergantung pada parameter yang diamati. Hal ini menunjukkan bahwa pada fase awal pertumbuhan, tanaman paria sudah dapat tumbuh dengan baik pada dosis pupuk yang lebih rendah dari dosis rekomendasi. Penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan dosis pupuk yang lebih rendah pada media polibag berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan mengurangi risiko kelebihan input nutrisi. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh dosis pupuk N, P, dan K pada fase generatif serta mengkaji

hubungan efisiensi penggunaan hara dengan produktivitas dan mutu hasil untuk memperoleh rekomendasi pemupukan yang optimal dan berkelanjutan.

## 5. Referensi

- Abdalla, M., Ahmed, M.A., Cai, G., Zarebanadkauri, M., Carminati, A. (2022). Couple effects of soil drying and salinity on soil-plant hydraulics. *Plant Physiology*, 190(2): 1228-1241. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac229>
- Abidin, Z., & Rohman, M. (2020). Pemberdayaan Kelompok Tani Dalam Pembuatan Pupuk Organik Berbahan Baku Limbah Rumah Tangga. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 89–94. <https://doi.org/10.31004/cdj.v1i2.709>
- Alves, D. M. R., de Oliveira, J. N., de Mello Prado, R., & Ferreira, P. M. (2023). Silicon in the form of nanosilica mitigates P toxicity in scarlet eggplant. *Scientific Reports*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36412-w>
- Andualem, A., Wato, T., Asfaw, A., & Urgi, G. (2024). Improving Primary Nutrients (NPK) Use Efficiency for the Sustainable Production and Productivity of Cereal Crops: A Compressive Review. *Journal of Agriculture Sustainability and Environment*, 3(1), 1–28. <https://doi.org/10.56556/jase.v3i1.833>
- Chaubey, A.K., Mishra, S., Singh, S.K., Chaubey, C., & Pandey, K.P. (2023). Integrated Nutrients Management for Future Production: A Review. *Journal of Agricultural Sciences*, 8. 10.9734/ijec/2023/v13i113333
- Denora, M., Candido, V., D'Antonio, P., Perniola, M., & Mehmeti, A. (2023). Precision nitrogen management in rainfed durum wheat cultivation: exploring synergies and trade-offs via energy analysis, life cycle assessment, and monetization. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10053-5>.
- Farhan, M., Sathish, M., Kiran, R., Mushtaq, A., Baazeem, A., Hasnain, A., Hakim, F., Naqvi, S. A. H., Mubeen, M., Iftikhar, Y., Abbas, A., Hassan, M. Z., & Moustafa, M. (2024). Plant Nitrogen Metabolism: Balancing Resilience to Nutritional Stress and Abiotic Challenges. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 93(3), 581–609. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.046857>
- Fior, C. S., Paim, L. P., Caumo, M., Alves, L. da S., & Schwarz, S. F. (2020). Fertilization in butia odorata seedlings formation. *Bosque*, 41(3), 241–251. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000300241>
- Fujita, M., Hasanuzzaman, M. (2022). Approaches in Enhancing Antioxidant Defense in Plants. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*.
- Ghimire, S., Poudel Chhetri, B., & Shrestha, J. (2023). Efficacy of different organic and inorganic nutrient sources on the growth and yield of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Heliyon*, 9(11), e22135. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22135>
- Gong, Z. (2021). Plant abiotic stress: New insights into the factors that activate and modulate plant responses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(3), 429–430. <https://doi.org/10.1111/jipb.13079>
- Hidayah, P., Izzati, M., Parman, S., Studi Biologi, P., Biologi, D., Sains dan Matematika, F., Diponegoro, U., & Soedarto, J. (2017). Buletin Anatomi dan Fisiologi Volume 2 Nomor 2 Agustus 2017 Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L. var. Granola) pada Sistem Budidaya yang Berbeda The Growth and Production of Potatoes (*Solanum tuberosum* L. var. Granola) on Different System of Cultivation. *Jurnal Labora Medika*, 1(2), 30–33.
- Hu, D., Zhang, J., Yang, Y., Yu, D., Zhang, H., & Zhang, D. (2025). Molecular mechanisms underlying plant responses to low phosphate stress and potential applications in crop improvement. *New Crops*, 2(January), 100064. <https://doi.org/10.1016/j.ncrops.2024.100064>
- Jia, S., Shen, M., Zhang, F., & Xie, J. (2017). Recent advances in momordica charantia: Functional components and biological activities. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijms18122555>
- Li, X., Wang, S., Zhu, L., Zhang, P., Qi, H., Zhang, K., Sun, H., Zhang, Y., Lei, X., Li, A., Wang, Z., Li, C., & Liu, L. (2025). Leaf hydraulic decline coordinates stomatal and photosynthetic limitations through anatomical adjustments under drought stress in cotton. *Frontiers in Plant Science*, 16(July), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1622308>
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. In *Mineral nutrition of higher plants*.
- Rawat J., Pandey, N., & Saxena, J. 2022. Role Of Potassium In Plant Photosynthesis, Transport, Growth, And Yield. Springer.

- Sahab, S., Suhani, I., Srivastava, V., Chauhan, P. S., Singh, R. P., & Prasad, V. (2021). Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. *Science of the Total Environment*, *764*, 144164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144164>
- Syafii, M., Rozik, M. H., Febi Torimania, A., & Nur Indriana, J. N. (2021). Review: Teknologi Simple Phenotyping sebagai Database Pengembangan Robot Pendeteksi dan Pemupuk Nitrogen Padi. *Rekayasa*, *14*(2), 175–182. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i2.10709>
- T., M., C., C. du P., & J., H. B. (2021). Phosphorus management issues for crop production: A review. *African Journal of Agricultural Research*, *17*(7), 939–952. <https://doi.org/10.5897/ajar2020.15205>
- Valenzuela, H. (2024). Optimizing the Nitrogen Use Efficiency in Vegetable Crops. *Nitrogen (Switzerland)*, *5*(1), 106–143. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5010008>
- Vieira, E. A., Neto, L.P., Filgueira, J. P.P.S., Salles, M. L. X., Valadares, R., Ramos, S.J., Gastauer, M., & Caldeira, C. F. (2025). Thriving on half: low nutritional demand in *Stephanopodium engleri* involves adjustments in photosynthetic apparatus functionality. *Acta Physiologiae Plantarum*. <https://doi.org/10.1007/s11738-025-03844-y>.
- Xian, X., Sun, W., Zhang, Z., Gao, Y., Li, C., Ding, L., & Wang, Y. (2024). Effects of combined application of phosphorus and zinc on growth and physiological characteristics of apple rootstock M9-T337 seedlings (*Malus domestica* Borkh.). *BMC Plant Biology*, *24*(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05724-y>