

Research Article

DOI : 10.36728/afp.v22i2.4898

PENGARUH DOSIS PUPUK UREA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL PADI PADA SISTEM SALIBU

Wahyu Tri Wibowo^{1*)}, Paiman²⁾

^{1,2} Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas PGRI Yogyakarta, Indonesia

* Email: wahyutriwibowo281201@gmail.com

ABSTRACT

The Salibu system is an innovative rice cultivation method that can increase productivity without the need for replanting; however, its success is highly influenced by fertilization management, particularly urea dosage. This study aimed to determine the effect of different urea fertilizer dosages on the growth and yield of Salibu rice using the Inpari 42 Agritan variety. The experiment was conducted in a paddy field using a completely randomized design (CRD) with a single factor consisting of four levels of urea dosage: control; 7.5; 15; and 22.5 g/clump, each replicated three times. Observed parameters included plant height, number of tillers, panicle length, total dry weight, total dry grain weight, 1,000 filled grain weight, and shoot dry weight. The results showed that a dosage of 15 g/clump produced the best results in terms of total dry grain weight and 1,000 filled grain weight. The 22.5 g/clump dosage has not yet yielded the highest shoot dry weight. Based on quadratic regression analysis, the optimal dosage for total dry grain weight was 22.04 g/clump, while the optimal dosage for 1,000 filled grain weight was 13.80 g/clump. In conclusion, urea application significantly affected the growth and yield of Salibu rice, with the optimal dosage varying among parameters. Further research is recommended to evaluate the effectiveness of these optimal dosage ranges under different agroecological conditions, in order to support more adaptive and sustainable fertilization recommendations.

KEYWORD

Inpari 42 Agritan, Rice, Salibu System, Optimum Dosage, Urea Fertilizer

INFORMATION

Received : 26 Mei 2025
Revised : 23 Juni 2025
Accepted : 28 Juli 2025

Volume : 25
Number : 2
Year : 2025

Copyright © 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

1. PENDAHULUAN

Budidaya padi (*Oryza sativa* L.) sistem Salibu ini merupakan alternatif dalam budidaya padi yang didasarkan pengetahuan lokal pertama kali dilakukan oleh masyarakat Sumatera Barat (Wahyuni et al., 2019). Batang bawah dari tanaman induk setelah panen dipelihara hingga muncul tunas baru dari sisa batang tersebut. Tunas baru dapat menumbuhkan akar yang membuat tanaman baru tidak lagi tergantung pada batang lama untuk nutrisi atau unsur hara (Marpaung, 2022). Pertumbuhan dan perkembangan tanaman baru pada budidaya ini sama dengan tanaman induk, sehingga nilai produksinya tetap tinggi meskipun tetap lebih rendah dari induknya. Budidaya menggunakan sistem ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya

umur tanaman padi yang lebih singkat, kebutuhan air yang lebih rendah, biaya produksi yang lebih murah karena efisiensi dalam pengolahan tanah, penanaman, dan penggunaan bibit (Abdulrachman et al., 2015).

Banyak metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil padi, salah satunya dengan pemupukan. Menurut Hayaza et al. (2022), kegiatan pemupukan menjadi salah satu hal yang mempengaruhi kesuburan tanah di area pertanian. Pemupukan merupakan kegiatan penambahan unsur hara pada tanah untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman. Menurut Siregar et al. (2018), pemupukan dilakukan untuk menambah unsur hara yang diperlukan oleh tanaman, karena kandungan unsur hara dalam tanah tidak selalu memadai untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Hal ini diperlukan karena nutrisi dalam tanah cenderung berkurang akibat diserap oleh tanaman.

Terdapat dua jenis pupuk secara umum, yaitu organik dan anorganik. Pupuk organik terbuat dari sisa-sisa tanaman dan makhluk hidup yang mengalami pelapukan. Sementara itu, pupuk anorganik atau buatan dibuat oleh pabrik dengan bahan kimia (Nabi et al., 2023). Salah satu jenis pupuk anorganik yakni urea mengandung unsur N yang berperan sangat penting bagi pertumbuhan tanaman padi. Kandungan unsur hara pada pupuk ini dapat mempercepat pertumbuhan tanaman, meningkatkan produksi biji-bijian dan kualitas melalui peningkatan jumlah anakan, ekspansi luas daun, pembentukan bulir, mengurangi kegagalan bulir, serta meningkatkan sintesis protein (Hasibuan, 2018; Paiman et al., 2021).

Tanaman padi yang kekurangan nitrogen akan memiliki jumlah anakan yang lebih sedikit, pertumbuhan terhambat, daun yang berwarna hijau kekuningan, dan mengalami penurunan hasil yang signifikan (Setyorini et al., 2020). Namun, pemupukan urea pada tanaman padi harus dilakukan dengan dosis tertentu agar sesuai dengan kebutuhan unsur hara yang dibutuhkan tanaman (Karim et al., 2019). Dosis merupakan jumlah atau takaran tertentu dari pupuk yang diberikan kepada tanaman dalam suatu area tanah. Pemberian dosis pupuk urea yang tepat akan memastikan tanaman menerima nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan tanpa menyebabkan masalah seperti kelebihan nutrisi yang dapat merusak lingkungan (Liu et al., 2023).

Penelitian tentang pengaruh dosis pupuk urea pada budidaya tanaman padi sistem Salibu sudah pernah dilakukan di polibag. Akan tetapi, penelitian pada varietas Inpari 42 Agritan di lahan sawah belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian untuk mengetahui dosis pemupukan urea yang optimum untuk mendapatkan hasil yang maksimum pada varietas Inpari 42 Agritan dengan sistem Salibu. Pada penelitian ini, pupuk urea dipilih karena mengandung nitrogen dalam kadar tinggi yang berperan penting dalam memacu pertumbuhan anakan baru dan meningkatkan hasil tanaman secara maksimal.

2. METODE

2.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret - Juni 2024 di Dusun Plurugan, Desa Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi sabit, golok, palu, gergaji, cangkul, meteran, penggaris, sprayer tasco TF 820, timbangan digital model DS-880, dan Alat tulis. Sedangkan, bahan yang digunakan yakni: batang induk padi Inpari 42 Agritan, pupuk urea 46%, ajir bambu, mika putih, tali rafia, pasak bambu, jaring burung, benang kenur dan paku.

2.2. Metode Penelitian

Penelitian ini disusun menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) 1 faktor dengan 3 ulangan. Perlakuan terdiri atas 4 taraf, yaitu: kontrol (tanpa pemberian pupuk), 7,5 g/rumpun, 15 g/rumpun, dan 22,5 g/rumpun. Total terdapat 4 perlakuan $\times$ 3 ulangan = 12 petak perlakuan, masing-masing seluas 2,2 m². Setiap petak terdiri atas 8 baris tanaman, dengan masing-masing baris ditanami 8 tanaman, sehingga jumlah tanaman per petak adalah 64 tanaman.

2.3. Prosedur Penelitian

Setelah tanaman padi panen, batang padi induk segera dipotong dengan tinggi sekitar 3 cm dari permukaan tanah. Selanjutnya, tunas yang tumbuh dari bagian dasar batang induk dipelihara. Perawatan dilakukan seperti pada budidaya padi tanaman induk, mencakup pengairan, pengendalian hama dan penyakit, serta penanggulangan gulma. Pemupukan pada tanaman padi sistem Salibu dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama diberikan saat tanaman berumur 14 hari setelah batang induk dipotong (HSPB), dan tahap kedua pada usia 28 HSPB. Pemberian pupuk urea dilakukan sesuai perlakuan yang telah ditentukan. Panen padi salibu dapat dilakukan saat tanaman mencapai umur 96 HSPB.

2.4. Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman (cm), jumlah anakan per rumpun (batang), panjang malai (cm), bobot kering keseluruhan (g), bobot biji kering keseluruhan (g), bobot 1000 biji bernas (g), dan bobot kering tajuk (g).

2.5. Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis dengan Analysis of variance (ANOVA) pada taraf 5% (Gomez & Gomez, 1984). Untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan, maka dilakukan uji jarak berganda Duncan's new multiple range test (DMRT) pada taraf nyata 5%. Selanjutnya, untuk mengetahui dosis optimum perlakuan pupuk terhadap hasil padi maksimum, maka dilakukan analisis regresi kuadratik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Bobot Biji Kering Per Rumpun

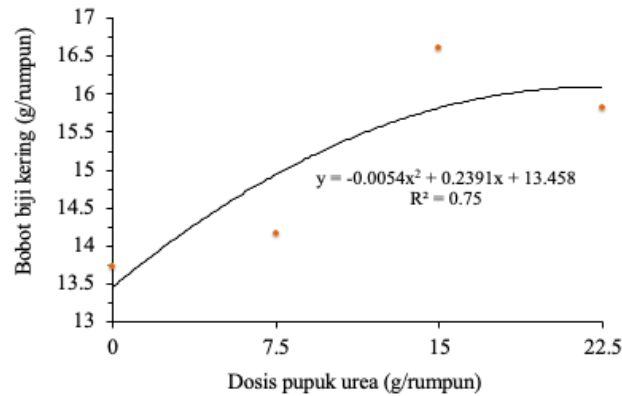
Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan pemberian dosis pupuk urea memberikan pengaruh nyata terhadap bobot biji kering keseluruhan. Rerata bobot biji kering keseluruhan biji padi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rerata Bobot Biji Kering Per Rumpun (g)

Dosis pupuk urea (g/rumpun)			
Kontrol	7,5	15	22,5
13,72 c	14,16 bc	16,61 a	15,83 ab

Keterangan: Rerata yang diikuti huruf sama pada baris menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan uji DMRT pada jenjang nyata 5%.

Tabel 1 menunjukkan bahwa pemberian pupuk urea dapat meningkatkan bobot biji kering per rumpun. Dosis pupuk urea 15 g/rumpun dapat menghasilkan bobot kering tertinggi dibandingkan dengan kontrol dan dosis 7,5 g/rumpun, meskipun tidak beda nyata dengan perlakuan 22,5 g/rumpun. Pengaruh pemberian dosis pupuk urea terhadap bobot kering per rumpun dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Pemberian Dosis Pupuk Urea Terhadap Bobot Biji Kering Per Rumpun

Gambar 1 menunjukkan pengaruh pemberian pupuk dosis urea terhadap bobot biji kering per rumpun tanaman. Hasil analisis regresi kuadratik ditemukan hubungan antara dosis pupuk urea dan bobot biji kering per rumpun bersifat kuadratik dengan persamaan: $y = -0,0054 x^2 + 0,2391x + 13,458$ ($R^2 = 0,75$). Hasil analisis regresi kuadratik ditemukan pada dosis optimum pupuk urea 22,04 g/rumpun dengan hasil maksimum sebesar 16,09 g/rumpun.

Pemberian pupuk urea dapat menyuplai nitrogen yang merupakan salah satu unsur esensial dalam pembentukan protein, klorofil, dan enzim fotosintetik (Tang et al., 2023; Zhu et al., 2025). Pemberian dosis urea sebesar 22,04 g/rumpun tanaman padi dapat mendukung pertumbuhan vegetatif (seperti tajuk dan jumlah daun) sekaligus fase reproduktif (pengisian biji). Alim et al. (2023) dan Haque & Hague (2016) menyatakan bahwa pemberian pupuk urea dapat memperkuat aktivitas fotosintesis, meningkatkan produksi zat hasil fotosintesis, dan memperlancar distribusi karbon ke biji, sehingga menghasilkan bobot biji kering yang lebih tinggi.

3.2. Bobot 1.000 Biji Bernas

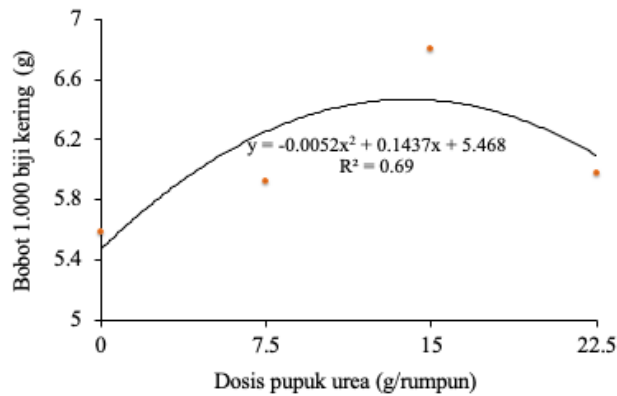
Hasil analisis ragam terhadap bobot 1000 biji bernas menunjukkan bahwa pemberian pupuk urea memberikan pengaruh nyata pada budidaya padi sistem Salibu. Rerata bobot 1000 biji bernas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rerata Bobot 1.000 Biji Bernas (g)

Dosis Pupuk Urea (g/rumpun)			
Kontrol	7,5	15	22,5
5,58 b	5,92 b	6,80 a	5,98 b

Keterangan: Rerata yang diikuti huruf sama pada baris menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan uji DMRT pada jenjang nyata 5%.

Tabel 2 menjelaskan bahwa pemberian pupuk urea pada dosis 15 g/rumpun memberikan bobot biji bernas tertinggi dan berbeda nyata dengan dosis 7,5 maupun 22,5 g/rumpun. Untuk lebih jelasnya, pengaruh pemberian dosis pupuk urea terhadap bobot 1000 biji bernas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Pemberian Dosis Pupuk Urea Terhadap Bobot 1.000 Biji Bernas

Gambar 2 menunjukkan pola hubungan antara dosis pupuk dan bobot 1000 biji bernas dilakukan analisis regresi kuadratik dengan persamaan: $y = -0,0054x^2 + 0,1497 x + 5,438$. Berdasarkan turunan pertama persamaan tersebut, maka diperoleh dosis optimum sebesar 13,80 g/rumpun dengan hasil maksimum sebesar 6,47 g. Peningkatan dosis pupuk urea hanya memberikan dampak positif terhadap bobot biji bernas hingga batas 13,8 g/rumpun, sebelum akhirnya menurun akibat efek fisiologis negatif yang ditimbulkan oleh kelebihan nitrogen. Pola ini mencerminkan respons tanaman terhadap unsur hara makro, dimana efisiensi serapan dan pemanfaatan nitrogen akan menurun ketika dosis yang diberikan melampaui kapasitas fisiologis tanaman.

Perlakuan dosis pupuk urea sebesar 13,8 g/rumpun memberikan bobot biji padi bernas tertinggi 6,47 g/rumpun karena dosis tersebut tampak sebagai titik keseimbangan optimal antara suplai nitrogen yang mencukupi untuk mendukung pertumbuhan vegetatif dan pengisian bulir, tanpa memicu kelebihan yang bisa menghambat pembentukan generatif atau merusak efisiensi tanaman. Menurut [Zakari et al. \(2021\)](#), dosis pupuk urea rendah kemungkinan tidak menyediakan cukup nitrogen untuk mencapai potensi maksimal fotosintesis dan pengisian biji, sementara dosis tinggi dapat memicu vegetatif berlebih yang menyerap energi dan nutrisi, menurunkan rasio nutrisi menuju biji, dan bahkan menyebabkan kerontokan atau stres metabolik. Sesuai dengan hasil penelitian [Karim et al. \(2019\)](#) dan [Liu et al. \(2023\)](#), dosis optimal urea menghasilkan bobot biji dan hasil gabah terbaik, sedangkan dosis lebih tinggi tidak meningkatkan hasil secara signifikan dan menurunkan efisiensi ekonomi maupun agronomi.

3.3. Bobot Kering Tajuk

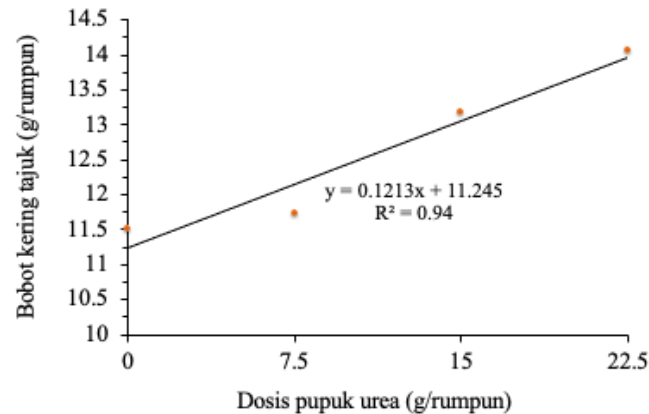
Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan pemberian pupuk urea berpengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk. Rerata bobot kering batang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rerata Bobot Kering Tajuk (g/rumpun)

Dosis Pupuk Urea (g/rumpun)			
Kontrol	7,5	15	22,5
11,50 b	11,72 b	13,17 a	14,05 a

Keterangan: Rerata yang diikuti huruf sama pada baris menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan uji DMRT pada jenjang nyata 5%.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pemberian pupuk urea dapat meningkatkan bobot kering tajuk tanaman padi pada umur 96 HSPB. Perlakuan dosis pupuk urea sebesar 15 dan 22,5 g/rumpun menghasilkan bobot kering tajuk lebih tinggi dibandingkan pada dosis 7,5 g/rumpun maupun kontrol. Antara perlakuan 15 dan 22,5 g/rumpun tidak beda nyata. Hal ini menunjukkan peningkatan dosis pupuk urea di atas 22,5 g/rumpun masih dapat meningkatkan bobot kering tajuk pada budidaya dengan sistem Salibu. Pengaruh pemberian dosis pupuk urea terhadap bobot kering tajuk dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Pemberian Dosis Pupuk Urea Terhadap Bobot Kering Tajuk

Gambar 3 menunjukkan bahwa pengaruh pemberian dosis pupuk urea terhadap bobot kering tajuk bersifat linier dengan persamaan: $y = 0.1213x + 11.245$ dan koefisien determinasi (r^2) = 0.94. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan pemberian dosis pupuk urea 1 g/rumpun menyebabkan kenaikan bobot kering tajuk sebesar 0.1213 g/rumpun.

Pemberian pupuk urea berpengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk tanaman padi dengan sistem Salibu, dimana dosis 15 dan 22,5 g/rumpun menghasilkan bobot kering tajuk yang lebih tinggi dibandingkan dosis 7,5 g/rumpun maupun tanpa pupuk (kontrol). Sementara itu, perlakuan dosis urea 7,5 g/rumpun belum mampu mencukupi kebutuhan nitrogen tanaman secara optimal. Menurut [Gao et al. \(2020\)](#), pemberian nitrogen dalam jumlah mencukupi mampu meningkatkan pertumbuhan tajuk padi melalui peningkatan aktivitas fotosintesis dan pembentukan biomassa. Dosis pupuk urea 15 g/rumpun sudah cukup untuk mencapai hasil maksimal.

Secara fisiologis, peningkatan bobot kering tajuk dapat dikaitkan dengan peran nitrogen sebagai penyusun utama klorofil, protein struktural, dan enzim penting yang mendukung fotosintesis ([Mengesha, 2021](#)). Nitrogen dalam bentuk urea yang terhidrolisis menjadi amonium dan nitrat, berperan dalam memperluas luas daun dan meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya ([Chen et al., 2024](#); [Zhang et al., 2011](#)).

4. KESIMPULAN

Pemberian dosis pupuk urea pada 22,04 g/rumpun merupakan perlakuan yang optimal untuk meningkatkan bobot biji kering per rumpun pada sistem tanam Salibu. Sementara itu, bobot 1.000 biji bernas tertinggi ditemukan pada dosis 13,8 g/rumpun. Namun, pemberian pupuk urea dengan dosis 22,5 g/rumpun belum mampu menghasilkan bobot kering tajuk tertinggi. Hal ini menunjukkan dengan peningkatan dosis urea tidak selalu sejalan dengan peningkatan bobot kering tajuk. Penelitian selanjutnya disarankan mengkaji variasi dosis urea yang lebih sempit di sekitar titik optimal serta pengaruhnya terhadap efisiensi penggunaan nitrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman, S., Suhartatik, E., Erdiman, Susilawati, Zaini, Z., Jamil, A., Mejaya, M. J., Sasmita, P., Abdullah, B., Suwarna, Baliadi, Y., Dhalimi, A., Sujinah, Suharna, & Ningrum, E. S. (2015). Panduan teknologi budidaya padi salibu. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Alim, M. A., Hossain, S. I., Ditta, A., Hasan, M. K., Islam, M. R., Hafeez, A. S. M. G., Khan, M. A. H., Chowdhury, M. K., Pramanik, M. H., Al-Ashkar, I., El Sabagh, A., & Islam, M. S. (2023). Comparative efficacy of foliar plus soil application of urea versus conventional application methods for enhanced growth, yield, agronomic efficiency, and economic benefits in rice. *ACS Omega*, 8, 35845–35855. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03483>
- Chen, J., Li, J., Li, W., Li, P., Zhu, R., Zhong, Y., Zhang, W., & Li, T. (2024). The optimal ammonium-nitrate ratio for various crops : A Meta-analysis. *Field Crops Research*, 307, 109240. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109240>
- Gao, L., Lu, Z., Ding, L., Xie, K., Wang, M., Ling, N., & Guo, S. (2020). Anatomically induced changes in rice leaf mesophyll conductance explain the variation in photosynthetic nitrogen use efficiency under contrasting nitrogen supply. *BMC Plant Biology*, 7(3), 527. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02731-7>
- Gomez, A. G., & Gomez, K. A. (1984). Statistical procedures for agricultural research (Second). John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Haque, M. A., & Haque, M. M. (2016). Growth, yield and nitrogen use efficiency of new rice variety under variable nitrogen rates. *American Journal of Plant Sciences*, 07, 612–622. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.73054>
- Hasibuan, I. et. a. (2018). Pengaruh dosis pemupukan (organik dan anorganik) serta frekuensi penyiraman terhadap pertumbuhan dan hasil ketimun. *Agromast*, 3(1).
- Hayaza, S., Nihla Farida, & I Ketut Ngawit. (2022). Pengaruh Kombinasi Dosis Pupuk Urea Dan Pupuk Kandang Terhadap Pertumbuhan Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 1(2), 155–163. <https://doi.org/10.29303/jima.v1i2.1441>
- Karim, M., Kashem, M. A., Huda, A., Aziz, M. A., & Goswami, B. K. (2019). Effect of different doses of urea on the yield of Boro rice varieties in Haor Areas of Bangladesh. *Asian Plant Research Journal*, 3(2), 1–9. <https://doi.org/10.9734/aprj/2019/v3i230061>
- Liu, R., Wang, Y., Hong, Y., Wang, F., Mao, X., & Yi, J. (2023). Controlled-release urea application and optimized nitrogen applied strategy reduced nitrogen leaching and maintained grain yield of paddy fields in Northwest China. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1033506. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1033506>
- Marpaung, D. S. S. (2022). Strategi peningkatan produktivitas padi melalui sistem salibu. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v16n1.2022.1-7>
- Mengesha, M. (2021). Effect and roles of nitrogen supply on photosynthesis. *International Journal of Photochemistry and Photobiology*, 5(2), 19–27. <https://doi.org/10.11648/j.ijpp.20210502.12>

- Nabi, N., Singh, S., & Saffeullah, P. (2023). An updated review on distribution, biosynthesis and pharmacological effects of artemisinin: A wonder drug. *Phytochemistry*, 214, 113798. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113798>
- Paiman, ., Ardiyanta, ., Kusumastuti, C. T., Gunawan, S., & Ardiani, F. (2021). Maximizing the rice yield (*Oryza Sativa* L.) using NPK fertilizer. *The Open Agriculture Journal*, 15(1), 33–38. <https://doi.org/10.2174/1874331502115010033>
- Setyorini et al. (2020). Respon varietas padi berpotensi hasil tinggi terhadap pemupukan nitrogen pada inceptisols bertekstur ringan dan berat. 44(1), 37–49.
- Siregar, M., Setiawan, A., Putera Utama Siahaan, A., & Andriani Luta, D. (2018). Pruning test and enclosure fertilizer for growth and production technology of salibu rice. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(10), 234–241.
- Tang, C., Han, M., Yang, X., Shen, T., Gao, Y., Wang, Y., Zhang, S., Chen, D., He, D., & Li, Y. C. (2023). Gene expression, enzyme activity, nitrogen use efficiency, and yield of rice affected by controlled-release nitrogen. *ACS Omega*, 8, 23772–23781. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02113>
- Wahyuni, S., Zulvera, Z., Tanjung, H. B., & Arif, E. (2019). Hubungan karakteristik inovasi dan kearifan lokal terhadap keberlanjutan penerapan teknologi padi salibu di Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. *Jurnal Penyuluhan*, 15(1). <https://doi.org/10.25015/penyuluhan.v15i1.21237>
- Zakari, S. A., Zaidi, S. H. R., Sunusi, M., & Dauda, K. D. (2021). Nitrogen deficiency regulates premature senescence by modulating flag leaf function, ROS homeostasis, and intercellular sugar concentration in rice during grain filling. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19, 177. <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00275-3>
- Zhang, Y., Lv, H., Wang, D., Deng, J., Song, W., Makeen, K., Shen, Q., & Xu, G. (2011). Partial nitrate nutrition amends photosynthetic characteristics in rice (*Oryza sativa* L. var. japonica) differing in nitrogen use efficiency. *Plant Growth Regulation*, 63, 235–242. <https://doi.org/10.1007/s10725-010-9520-7>
- Zhu, J., Chen, S., Xu, C., Liu, Y., Yu, K., Zhang, X., Wang, D., & Chu, G. (2025). One-time application of polymer-coated urea increased rice yield and plant nitrogen uptake by optimizing root morphological and physiological traits. *Agronomy*, 15, 282. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020282>