

Efisiensi Serapan Fosfor Sawi Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Dengan Pemberian Kompos Brangkasian Kedelai Berbagai Dosis

Diandra Vania Putri¹, Anis Sholihah¹, Agus Sugianto¹

¹Departemen Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Malang,
Jalan MT. Haryono, No. 193, Malang 65144, Jawa Timur, Indonesia
Email korespondensi : diandravaniap@gmail.com

Abstrak

Penggunaan pupuk organik seperti kompos brangkasian kedelai berpotensi meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh pemberian kompos brangkasian kedelai dengan dosis yang berbeda pada pertumbuhan, hasil dan efisiensi P tanaman sawi pakcoy. Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) sederhana dengan perlakuan dosis kompos yaitu: D_0 = tanpa kompos/ 0 ton.ha^{-1} , D_1 = 5 ton.ha^{-1} , D_2 = 10 ton.ha^{-1} , D_3 = 15 ton.ha^{-1} , D_4 = 20 ton.ha^{-1} . Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian kompos brangkasian kedelai dosis 15 ton/ha^{-1} meningkatkan efisiensi serapan fosfor sebesar 82,52% dibandingkan tanpa kompos. Dosis berbeda meningkatkan tinggi tanaman sebesar 16,50 cm, jumlah daun sebesar 12,44 helai dan luas daun sebesar $4463,59 \text{ cm}^2$ sedangkan pada hasil panen dosis 20 ton/ha^{-1} menghasilkan bobot segar total sebesar 279 g, bobot segar akar sebesar 15,33 g dan bobot kering total sebesar 52,67 g. Penelitian ini menghasilkan temuan dosis optimum kompos brangkasian kedelai yang tidak hanya meningkatkan pertumbuhan dan hasil, tetapi juga secara signifikan mengoptimalkan efisiensi serapan fosfor tanaman sawi pakcoy pada skala aplikasi berbasis dosis terukur.

Kata kunci: kompos, brangkasian kedelai, efisiensi P, fosfor

Abstract

The use of organic fertilizers such as soybean compost has the potential to increase soil fertility and reduce dependence on chemical fertilizers. This study aims to determine the effect of applying soybean cuttings compost at different doses on growth, yield, and P efficiency of Pakcoy mustard plants. This experiment used a simple Complete Random Design (RAL) with a compost dose treatment, namely D_0 = no compost/ 0 t.ha^{-1} , D_1 = 5 t.ha^{-1} , D_2 = 10 t.ha^{-1} , D_3 = 15 t.ha^{-1} , D_4 = 20 t.ha^{-1} . The results showed that the application of soybean cuttings compost at a dose of 15 tons/ha^{-1} increased the phosphorus uptake efficiency by 82.52% compared to no compost. Different doses increased the plant height by 16.50 cm, the number of leaves by 12.44 leaves and the leaf area by 4463.59 cm^2 , while the yield of a dose of 20 tons/ha^{-1} gave a total fresh weight of 279 g, a fresh root weight of 15.33 g and a total dry weight of 52.67 g.

Keywords: compost, soybean trimming, P efficiency, phosphorus

Pendahuluan

Salah satu cara untuk meningkatkan produksi tanaman sawi pakcoy melalui pemupukan. Penggunaan pupuk organik seperti kompos brangkasian kedelai berpotensi meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia (Ramadhan et al., 2025). Brangkasian kedelai dikategorikan sebagai bahan organik berkualitas tinggi karena proses dekomposisinya relatif cepat, sehingga unsur hara yang

diperlukan segera tersedia dan mudah diserap sesuai kebutuhan tanaman (Sholihah *et al.*, 2019). Kualitas bahan organik berpengaruh terhadap laju mineralisasi sehingga kompos brangkasan kedelai mampu menyediakan unsur hara esensial bagi tanaman.

Peningkatan bahan organik dapat meningkatkan fosfor tersedia, tingginya serapan fosfor oleh tanaman bergantung pada ketersediaan fosfor dalam tanah, yang dipengaruhi oleh pH dan bahan organik. Tanaman menyerap fosfor sesuai kebutuhan, kelebihan fosfor justru dapat memperpendek umur tanaman. Semakin banyak fosfor tersedia, semakin besar pula yang dapat diserap tanaman (Setyanti *et al.*, 2013). Penambahan bahan organik, seperti pupuk kandang meningkatkan laju mineralisasi P. Proses perubahan fosfor organik menjadi bentuk anorganik yang dapat diserap oleh tanaman disebut mineralisasi fosfor (Pang *et al.*, 2024). Peningkatan atau penurunan kandungan ion OH^- dalam tanah dapat mempengaruhi bentuk fosfor yang tersedia, semakin rendah pH tanah maka jerapan maksimum ion fosfor akan meningkat yang berakibat pada rendahnya ketersediaan fosfor di dalam tanah. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh pemberian kompos brangkasan kedelai dengan dosis yang berbeda pada pertumbuhan, hasil dan efisiensi P tanaman sawi pakcoy.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga Oktober 2024 di Rumah Kaca Laboratorium Sentral Universitas Islam Malang, Dusun Sememek, Desa Kebonagung, Kecamatan Pakisaji, Kabupaten Malang dengan ketinggian 452,6 mdpl, dengan suhu rata-rata 25- 27°C. Kabupaten Malang terletak pada posisi 112,06°-112,07° Bujur Timur dan 7,06°-8,02° Lintang Selatan. Analisis tanaman dilakukan di 3 Laboratorium berbeda yaitu: Laboratorium Terpadu Universitas Islam Malang, Laboratorium Badan Standarisasi Instrumen Pertanian Aneka Kacang Kendalpayak Kab. Malang dan Laboratorium UPT PATPH (Pengembangan Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura) Bedali Lawang. Percobaan ini terdiri dari 3 tahap yaitu: Tahap 1. Persiapan alat dan bahan, alat dan bahan yang digunakan antara lain cangkul, ember, cetok, selang, timbangan, mistar, polibag ukuran 40 x 40, tanah, benih sawi pakcoy varietas GREEN, pupuk kandang KOHE, residu tanaman kedelai, pupuk dasar (Urea, KCl dan SP-36), Furadan, Pestisida, Curacron, Aquadest, Amilum, Iodine, dan kertas saring. Tahap 2. Pembuatan kompos brangkasan kedelai dengan perlakuan dosis kompos, setelah kompos matang kurang lebih 3 minggu dilakukan analisis parameter kualitas yang meliputi kandungan N total (%), C/N rasio, lignin (%), polifenol (%), selulosa (%), kandungan P dan K. Tahap 3. Percobaan pot, rancangan yang digunakan dalam

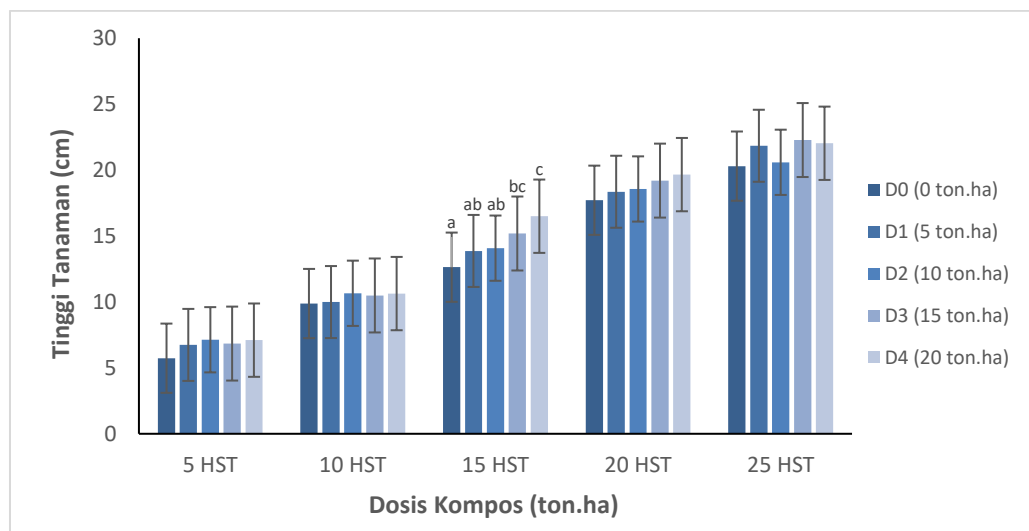
penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) sederhana terdiri dari D_0 = tanpa kompos/ 0 ton.ha^{-1} , $D_1 = 5 \text{ ton.ha}^{-1}$, $D_2 = 10 \text{ ton.ha}^{-1}$, $D_3 = 15 \text{ ton.ha}^{-1}$, $D_4 = 20 \text{ ton.ha}^{-1}$. Pengamatan pertumbuhan dilakukan secara non destruktif (tanpa membongkar tanaman) terdiri dari tinggi tanaman, jumlah daun, dan luas daun. Pengamatan hasil tanaman dilakukan secara destruktif (membongkar tanaman) terdiri dari bobot segar total tanaman, bobot segar akar, bobot kering total, indeks panen dan efisiensi fosfor. Efisiensi penggunaan P dihitung dengan rumus:

$$\text{Efisiensi P} = \frac{\text{Serapan P total tanaman}}{\text{P yang dilepaskan dalam tanah oleh BO}} \times 100\%$$

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan taraf 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan apabila menunjukkan pengaruh nyata maka dilanjutkan dengan uji lanjut BNT 5%.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis ragam uji F 5% menunjukkan bahwa perlakuan pemberian kompos brangkasan kedelai berbagai dosis tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman kecuali pada umur 15 HST. Rata-rata tinggi tanaman pada berbagai dosis terlihat dalam Gambar 1.

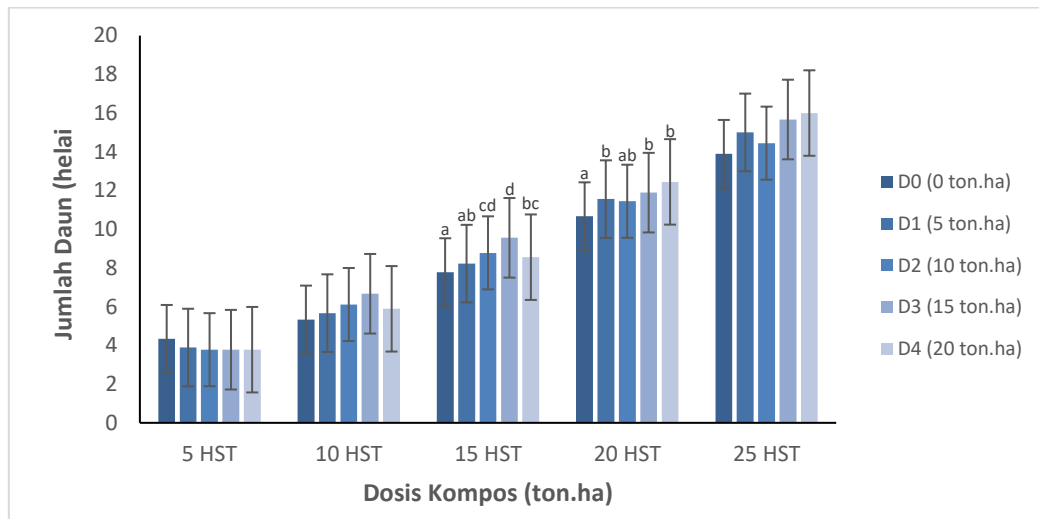


Gambar 1. Rerata Tinggi Tanaman Sawi Pakcoy Akibat Pemberian Berbagai Dosis Kompos Pada Berbagai Umur Pengamatan

Menurut (Oner, 2024) bahwa tinggi tanaman dipengaruhi oleh pemberian unsur hara N yang berperan dalam meningkatkan kandungan klorofil, mengoptimalkan efisiensi fotosintesis dan regulasi stomata serta memperkuat ketahanan tanaman secara keseluruhan sehingga tanaman menghasilkan lebih banyak energi untuk pertumbuhan. Menurut (Mallik *et al.*, 2024) kelembapan udara secara umum berperan dalam mengatur

laju transpirasi dan konduktansi stomata yang berdampak pada pertumbuhan dan tinggi tanaman. Struktur pelindung seperti rumah kaca dapat membantu menyesuaikan tingkat kelembapan, sehingga menjaga stabilitas pertumbuhan tanaman di berbagai kondisi lingkungan. Selain faktor lingkungan yang berperan krusial, regulasi genetik juga memiliki peran penting dalam menentukan tinggi tanaman. Karakter genetik dapat berinteraksi dengan kondisi lingkungan dan menghasilkan respon pertumbuhan yang lebih kompleks (Mu, 2021).

Hasil analisis ragam uji F 5% menunjukkan bahwa perlakuan pemberian kompos brangkasan kedelai berbagai dosis tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun kecuali pada umur 15 dan 20 HST. Rata-rata jumlah daun pada berbagai dosis terlihat dalam Gambar 2.

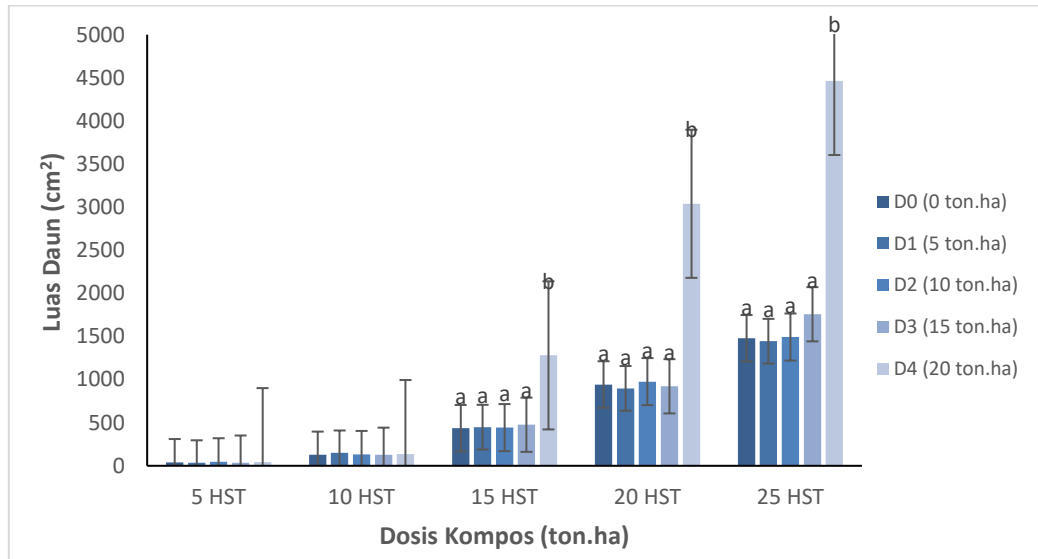


Gambar 2. Rerata Jumlah Daun Tanaman Sawi Pakcoy Akibat Pemberian Berbagai Dosis Kompos Pada Berbagai Umur Pengamatan

Menurut (Fauzi *et al.*, 2022) pertumbuhan dan perkembangan daun dipengaruhi oleh faktor internal yang sifatnya dapat dipengaruhi oleh manusia yaitu rekayasa nutrisi tanah sebagai media tanam. Peningkatan jumlah daun disebabkan oleh dosis pupuk yang digunakan dapat menyediakan unsur hara yang seimbang sehingga merangsang pertumbuhan daun pada tanaman. Faktor lingkungan dapat memengaruhi ukuran dan bentuk daun yang menunjukkan kemampuan adaptasi daun terhadap lingkungannya (Tabeta *et al.*, 2023). Daun memiliki peran utama dalam fotosintesis, menghasilkan fotosintat yang mendukung pertumbuhan dan reproduksi tanaman. Sementara itu, rasio massa daun yang mencerminkan proporsi biomassa yang dialokasikan untuk daun berpengaruh besar terhadap efisiensi fotosintesis dan produktivitas biomassa (Chen *et al.*, 2024). Penyesuaian lebar daun terhadap kondisi lingkungan menunjukkan bahwa,

meskipun faktor genetik sangat penting namun faktor eksternal juga berkontribusi secara signifikan dalam membentuk karakteristik ini (Zhi et al., 2022).

Hasil analisis ragam uji F 5% menunjukkan bahwa perlakuan pemberian kompos brangkasan kedelai berbagai dosis tidak berpengaruh nyata terhadap luas daun kecuali pada umur 15, 20 dan 25 HST. Rata-rata luas daun pada berbagai dosis terlihat dalam Gambar 3.

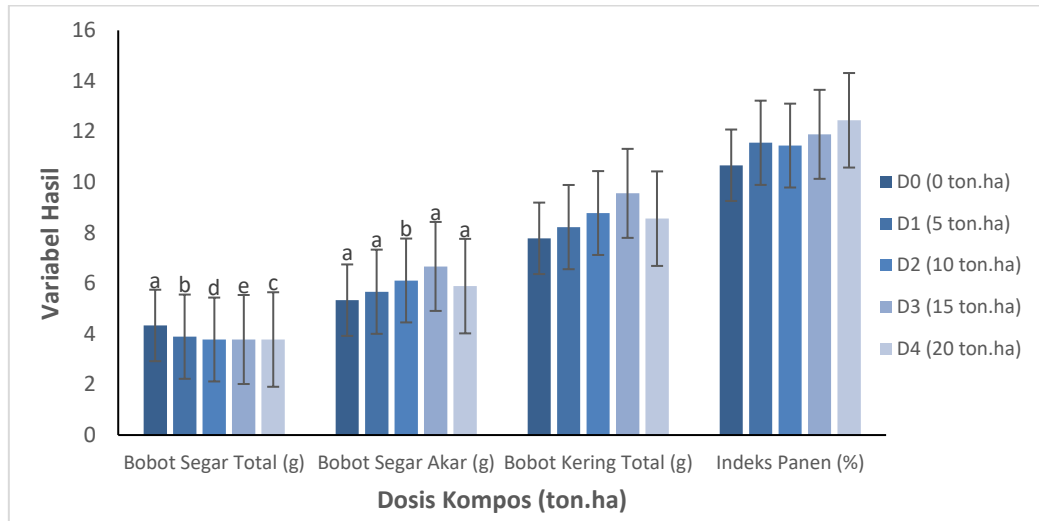


Gambar 3. Rerata Luas Daun Tanaman Sawi Pakcoy Akibat Pemberian Berbagai Dosis Kompos Pada Berbagai Umur Pengamatan

Menurut (Kare et al., 2023) peningkatan luas daun disebabkan oleh kebutuhan unsur hara N, P, K yang terpenuhi pada tanaman sawi pakcoy. Unsur N merupakan unsur yang berperan penting dalam pertumbuhan vegetatif tanaman termasuk dalam pembentukan daun. Pada dasarnya unsur N merupakan komponen utama dalam pembentukan protein dan asam nukleat sehingga akan menambah luas daun tanaman. Menurut (Wang et al., 2024) terdapat korelasi linier yang kuat antara jumlah daun dan total luas daun per tanaman yang menunjukkan bahwa jumlah daun berperan penting dalam menentukan luas daun secara keseluruhan. Penyesuaian fotosintesis pada daun dipengaruhi oleh cahaya dan suhu, daun yang lebih lebar memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga meningkatkan intersepsi Cahaya yang sangat penting untuk fotosintesis (Yu et al., 2024). Kekurangan kalium dapat menyebabkan penyusutan luas daun sehingga fotosintesis terganggu, hal ini menunjukkan pentingnya nutrisi dalam menjaga efisiensi fotosintesis (Hu et al., 2020). Interaksi hara, antara N dan K atau N dan P, berperan penting dalam produktivitas tanaman dan dapat mempengaruhi keseimbangan hara pada daun (de Mello Prado, 2021). Alokasi karbon (C) antara pembentukan struktur daun dan proses metabolisme menunjukkan adanya

keseimbangan fisiologis, di mana perbedaan komposisi unsur hara dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti pH dan tingkat kelembapan tanah (Xing *et al.*, 2021).

Hasil analisis ragam uji F 5% menunjukkan bahwa perlakuan pemberian kompos brangkas kedelai berbagai dosis berpengaruh nyata terhadap Bobot Segar Total dan Bobot Segar Akar sedangkan perlakuan pemberian kompos brangkas kedelai berbagai dosis tidak berpengaruh nyata terhadap Bobot Kering Total dan Indeks Panen.



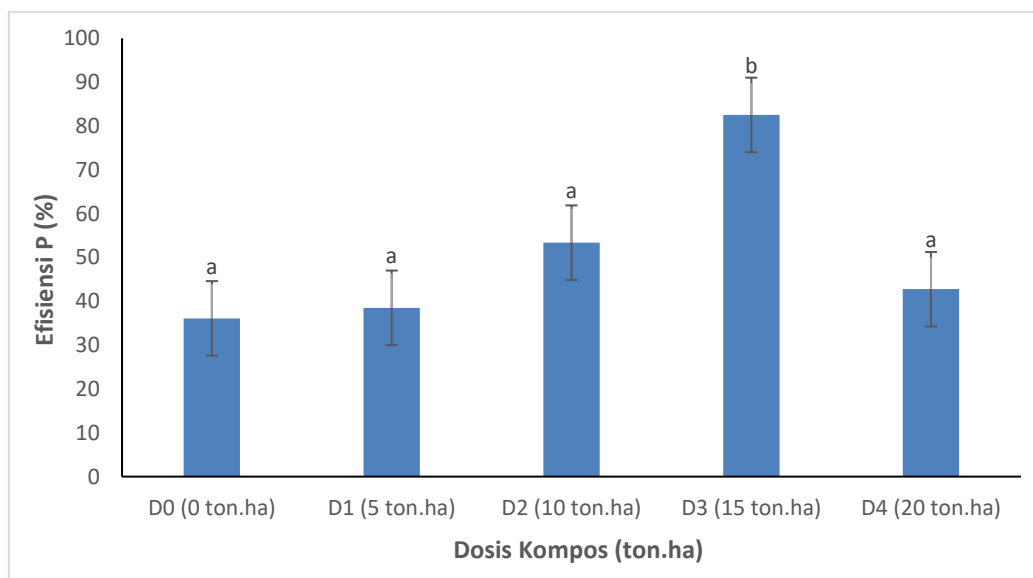
Gambar 4. Rerata Hasil Panen Tanaman Sawi Pakcoy Akibat Pemberian Berbagai Dosis Kompos Pada Berbagai Umur Pengamatan

Menurut (Girsang *et al.*, 2024) brangkas kedelai berperan sebagai pupuk organik yang menyediakan unsur hara penting, membantu meningkatkan kualitas tanah serta mendukung pertumbuhan tanaman. Penggunaan kompos brangkas kedelai dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan mengurangi biaya operasional sehingga menjadi alternatif bagi para petani. Menurut (Yan *et al.*, 2024). Mineralisasi kompos brangkas kedelai melibatkan proses dekomposisi bahan organik yang melepaskan unsur hara penting ke dalam tanah. Kompos brangkas kedelai meningkatkan biomassa mikroba sehingga membantu mempercepat ketersediaan unsur hara bagi tanaman, proses dekomposisi yang relatif cepat mampu meningkatkan ketersediaan P dalam bentuk yang lebih mudah diserap oleh tanaman.

Penimbangan bobot segar akar dilakukan untuk mengetahui berat basah akar serta kandungan air di dalamnya. Jumlah akar yang lebih banyak meningkatkan kemampuan tanaman dalam mengeksplorasi tanah, akar yang lebih tipis di lapisan tanah atas lebih efisien dalam menyerap nutrisi yang terbatas, sedangkan akar yang lebih dalam dapat mencapai zona yang kaya nutrisi, bahkan di lingkungan yang ekstrem (Fujii, 2024). Sedangkan, bobot segar total adalah bobot tanaman setelah dipanen sebelum tanaman tersebut layu dan kehilangan air. Menurut (Hosoda *et al.*, 2024) jumlah daun

dan berat segar umumnya memiliki keterkaitan satu sama lain, semakin banyak jumlah daun maka akan menunjukkan bobot segar tanaman yang semakin tinggi. Menurut (Lakić *et al.*, 2021) berat kering tanaman merupakan parameter utama yang mencerminkan akumulasi biomassa serta kandungan nutrisi dalam jaringan tanaman. Kandungan unsur hara dalam berat kering tanaman berperan penting dalam menentukan efisiensi siklus hara dalam ekosistem pertanian (Lakić *et al.*, 2021). Indeks panen adalah rasio antara hasil panen dan total biomassa tanaman. Faktor lingkungan seperti kekeringan secara signifikan dapat menurunkan indeks panen (Dwivedi *et al.*, 2023). Praktik pengelolaan tanaman, termasuk strategi pemberian air dan nutrisi, dapat meningkatkan indeks panen dengan mengoptimalkan keseimbangan antara ketersediaan sumber daya dan kebutuhan pertumbuhan tanaman (Yang and Zhang, 2023). Namun, meskipun peningkatan indeks panen dapat meningkatkan hasil panen, perlu diperhatikan adanya pertukaran dengan akumulasi biomassa. Hal ini disebabkan oleh kenyataan bahwa peningkatan salah satu parameter tidak selalu diikuti oleh peningkatan proporsional pada parameter lainnya (Gandhi *et al.*, 2024).

Hasil analisis ragam uji F 5% menunjukkan bahwa perlakuan pemberian kompos brangkasan kedelai berbagai dosis berpengaruh nyata terhadap efisiensi P. Rata-rata efisiensi P pada berbagai dosis terlihat dalam Gambar 5.



Gambar 5. Rerata Efisiensi Fosfor Tanaman Sawi Pakcoy Akibat Pemberian Berbagai Dosis Kompos Pada Berbagai Umur Pengamatan

Fosfor (P) adalah unsur hara makro esensial bagi pertumbuhan tanaman, tetapi ketersediaannya di dalam tanah sering kali terbatas akibat berbagai interaksi kimia dan fisika. Meskipun tanah mengandung jumlah fosfor total yang cukup besar, kurang dari

1% yang dapat diserap oleh tanaman karena proses fiksasi (Négre et al., 2024). Fosfor berperan penting dalam penyimpanan dan transfer energi, terutama dalam sintesis ATP, yang mendukung proses fotosintesis dan respirasi (Odoom and Ofosu, 2024). Konversi ekosistem alami menjadi lahan pertanian menyebabkan perubahan sifat tanah, yang berdampak pada ketersediaan fosfor. Akibatnya, meskipun kandungan fosfor total dalam tanah cukup tinggi, tanaman tetap dapat mengalami defisiensi fosfor yang tersedia (Négre et al., 2024). Kekurangan fosfor dapat menghambat pertumbuhan, terutama pada tahap awal perkembangan tanaman, sehingga berdampak pada hasil panen (Fathi and Mehdiniya Afra, 2023). Namun, kelebihan fosfor dapat memicu dampak lingkungan seperti eutrofikasi, sehingga diperlukan manajemen pemupukan yang tepat (Ebrahimi and Ojani, 2024). Pengelolaan fosfor yang efektif, seperti penerapan pupuk dan rotasi tanaman, sangat penting untuk mempertahankan kesuburan tanah serta mencegah masalah lingkungan seperti eutrofikasi (Ebrahimi and Ojani, 2024). Menurut (Mardamootoo et al., 2021) kelarutan dan ketersediaan fosfor dalam tanah dipengaruhi oleh faktor seperti pH, tekstur tanah, dan kandungan bahan organik. Efisiensi fosfor mengacu pada kemampuan tanaman dalam memanfaatkan fosfor yang telah diserap untuk mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman. Meskipun peningkatan efisiensi fosfor penting, ketergantungan berlebihan pada pupuk dapat menimbulkan dampak lingkungan seperti limpasan hara dan degradasi tanah. Oleh karena itu, penggunaan pupuk organik dapat menjadi alternatif untuk pengelolaan unsur hara di sektor pertanian (Zhuang and Wang, 2023).

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Pemberian pupuk kompos brangkasian dosis 15 ton.ha⁻¹ mampu meningkatkan efisiensi serapan P pada tanaman sawi pakcoy sebesar 82,52% dibandingkan perlakuan tanpa kompos. Pertumbuhan tanaman sawi pakcoy dengan dosis berbeda meningkatkan tinggi tanaman sebesar 16,50 cm, jumlah daun sebesar 12,44 helai, luas daun sebesar 4463,59 cm². Hasil tanaman sawi pakcoy dengan dosis kompos 20 ton.ha⁻¹ menghasilkan bobot segar total sebesar 279 g, bobot segar akar sebesar 15,33 g dan bobot kering total sebesar 52,67 g.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka direkomendasikan kepada petani untuk penanaman sawi pakcoy sebaiknya menggunakan pupuk kompos brangkasian kedelai dengan dosis 20 ton.ha⁻¹ karena dapat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dosis kompos lainnya.

Daftar Pustaka

- Chen, R., Xiao, S., Dong, C., Xie, S., Zhang, L., Wu, F., Tu, C., Liu, Q.-X., Wang, S., Niinemets, Ü., others, 2024. Ontogenetic shifts in leaf biomass allocation in crop plants. *National Science Review* 11, nwae349.
- de Mello Prado, R., 2021. Interactions Between Nutrients, in: *Mineral Nutrition of Tropical Plants*. Springer, pp. 313–323.
- Dwivedi, S.K., Kumar, S., Natividad, M.A., Quintana, M.R., Chinnusamy, V., Henry, A., 2023. Disentangling the roles of plant water status and stem carbohydrate remobilization on rice harvest index under drought. *Rice* 16, 14.
- Ebrahimi, E., Ojani, M.R., 2024. Phosphorus dynamics in soil-water-sediment environment, in: *Phosphorus in Soils and Plants*. IntechOpen.
- Fathi, A., Mehdiniya Afra, J., 2023. Plant Growth and Development in Relation to Phosphorus: A review. *Bulletin of the university of agricultural sciences & veterinary medicine Cluj-Napoca. Agriculture* 80.
- Fauzi, M., M, L.H., Suhada R, Q.A., Hernahadini, N., 2022. Pengaruh Pupuk Kasgot (Bekas Maggot) Magotsuka terhadap Tinggi, Jumlah Daun, Luas Permukaan Daun dan Bobot Basah Tanaman Sawi Hijau (*Brassica rapa* var. *Parachinensis*). *Agritrop : Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)* 20, 20–30. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v20i1.7324>
- Fujii, K., 2024. Plant strategy of root system architecture and exudates for acquiring soil nutrients. *Ecological Research* 39, 623–633.
- Gandhi, M., Sharma, M., Patel, M., Soni, N., Dave, G., 2024. Unearthing hybridization opportunities for augmenting biomass yield and harvest index in rajmash (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Legumes* 37, 34–39.
- Girsang, R., Sitepu, S.M.B., Sagita, S., 2024. Pengaruh Pemberian Pupuk Branglai (Brangkasan Kedelai) dalam Upaya Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Varietas Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.). *JURNAL AGROPLASMA* 11.
- Hosoda, Y., Tada, T., Goto, H., 2024. Lettuce fresh weight prediction in a plant factory using plant growth models. *Ieee Access* 12, 97226–97234.
- Hu, W., Lu, Z., Meng, F., Li, X., Cong, R., Ren, T., Sharkey, T.D., Lu, J., 2020. The reduction in leaf area precedes that in photosynthesis under potassium deficiency: the importance of leaf anatomy. *New Phytologist* 227, 1749–1763.
- Kare, B.D.Y., Sukerta, M., Javandira, C., Ananda, K.D., 2023. Pengaruh Pupuk Kasgot Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Agrimeta: Jurnal Pertanian Berbasis Keseimbangan Ekosistem* 13, 59–66.
- Lakić, Ž., Žabić, M., Predić, T., 2021. Determining the content of nitrogen and some macroelements in the dry mass of perennial leguminous plants.
- Mallik, R., Ojha, S., Dey, T., Islam, A., Kothari, S.K., 2024. Effect of environmental variations influence on plant growth in different protective structures and growing mediums. *Environment and Ecology* 42, 1650–1658.
- Mardamootoo, T., Du Preez, C., Barnard, J., 2021. Phosphorus management issues for crop production: A review. *African Journal of Agricultural Research* 17, 939–952.
- Mu, Q., 2021. The environmental, developmental, and genetic regulation of plant height: Insights from phenotypic plasticity and genetic cloning (PhD Thesis). Iowa State University.
- Négre, P., Ladenberger, A., Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Sadeghi, M., Team, G.P., others, 2024. GEMAS: Phosphorus in European agricultural soil-sources versus sinks at the continental-scale-the geological perspective. *Science of the total environment* 930, 172524.
- Odoom, A., Ofosu, W., 2024. Role of phosphorus in the photosynthetic dark phase biochemical pathways, in: *Phosphorus in Soils and Plants*. IntechOpen.

- Oner, F., 2024. Effects of nitrogen doses on stomatal characteristics, chlorophyll content, and agronomic traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *PeerJ* 12, e18792.
- Pang, F., Li, Q., Solanki, M.K., Wang, Z., Xing, Y.-X., Dong, D.-F., 2024. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. *Frontiers in Microbiology* Volume 15-2024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>
- Ramadhan, N., Martinsyah, R.H., Obel, O., Ronaldi, R., Nugroho, D., Al Hakim, A., Nadia, N., Rayhaani, A.A., Hutaeruk, S.B., Sandi, N., others, 2025. Peningkatan Kapasitas Kelompok Tani Taruko Saiyo Dalam Pengelolaan Limbah Pertanian Untuk Mewujudkan Perbaikan Iklim Mikro Tanaman. *Jurnal Abdi Insani* 12, 6361–6373.
- Setyanti, Y.H., Anwar, S., Slamet, W., 2013. Karakteristik fotosintetik dan serapan fosfor hijauan alfalfa (*Medicago sativa*) pada tinggi pemotongan dan pemupukan nitrogen yang berbeda. *Animal Agriculture Journal* 2, 86–96.
- Sholihah, A., Sugianto, A., Alawiy, T., 2019. Variasi campuran brangkasian kedelai dan jerami padi terhadap serapan N dan efisiensi penggunaan N, pertumbuhan dan hasil tanaman padi gogo (*Oryza sativa* L.). *Folium: Jurnal Ilmu Pertanian* 3, 10–19.
- Tabeta, H., Gunji, S., Kawade, K., Ferjani, A., 2023. Leaf-size control beyond transcription factors: Compensatory mechanisms. *Frontiers in Plant Science* 13, 1024945.
- Wang, C., Heng, Y., Xu, Q., Zhou, Y., Sun, X., Wang, Y., Yao, W., Lian, M., Li, Q., Zhang, L., others, 2024. Scaling relationships between the total number of leaves and the total leaf area per culm of two dwarf bamboo species. *Ecology and Evolution* 14, e70002.
- Xing, K., Zhao, M., Niinemets, Ü., Niu, S., Tian, J., Jiang, Y., Chen, H.Y., White, P.J., Guo, D., Ma, Z., 2021. Relationships between leaf carbon and macronutrients across woody species and forest ecosystems highlight how carbon is allocated to leaf structural function. *Frontiers in Plant Science* 12, 674932.
- Yan, Z., Jia, R., Zhou, J., Zamanian, K., Yang, Y., Mganga, K.Z., Zeng, Z., Zang, H., 2024. Soybean inclusion reduces soil organic matter mineralization despite increasing its temperature sensitivity. *Science of the Total Environment* 922, 171334.
- Yang, J., Zhang, J., 2023. Simultaneously improving grain yield and water and nutrient use efficiencies by enhancing the harvest index in rice. *Crop and Environment* 2, 157–164.
- Yu, Y., Kang, H., Wang, H., Wang, Y., Tang, Y., 2024. The leaf-scale mass-based photosynthetic optimization model better predicts photosynthetic acclimation than the area-based. *AoB Plants* 16, plae044.
- Zhi, X., Hammer, G., Borrell, A., Tao, Y., Wu, A., Hunt, C., van Oosterom, E., Massey-Reed, S.R., Cruickshank, A., Potgieter, A.B., others, 2022. Genetic basis of sorghum leaf width and its potential as a surrogate for transpiration efficiency. *Theoretical and Applied Genetics* 135, 3057–3071.
- Zhuang, H., Wang, J., 2023. Research progress of phosphorus fertilizer utilization efficiency in soil. *Front. Sustainable Dev.* 3, 48–53.