

Pemenuhan Kebutuhan Hara Nitrogen pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) Melalui Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Organik dan PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria)

Taufikurrahman^{1*}, Setyono Yudo Tyasmoro², dan Anna Satyana Karyawati²

¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145 Jawa Timur, Indonesia

²Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145 Jawa Timur, Indonesia

*Alamat korespondensi: sytasmoro@ub.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 16-06-2025	
Direvisi: 21-07-2025	Fulfillment of nitrogen nutrient requirements in rice plants (<i>Oryza sativa</i> L.) through the application of various types of organic fertilizers and PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria)
Dipublikasi: 31-12-2025	
Keywords: Alternative fertilizer, <i>Azolla microphylla</i> , Mushroom waste, <i>Sesbania sesban</i>	Rice is a highly important commodity, as it serves as the staple food for the Indonesian population. However, national rice production has declined, partly due to the overuse of inorganic fertilizer which causing the reduction of soil quality. Therefore, this study was conducted to meet nutrient requirements of rice through the application of various organic fertilizers and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as an alternative. The experiment was carried out from June to October 2024 at the Jatimulyo Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Universitas Brawijaya. A Split Plot Design (SPD) was used, consisting of sub-plots: (Urea + NPK farmer's dosage), (Urea + NPK recommended dosage), mushroom waste, <i>Azolla microphylla</i> , <i>Sesbania sesban</i> , and <i>Azolla microphylla</i> + <i>Sesbania sesban</i> . The main plots were without PGPR and with PGPR at 15 ml/l. Data were analyzed using a Split Plot Design at a 5% significance level, followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT). The results showed that organic fertilizer (<i>A. microphylla</i>) provided the best results for plant height at 74 DAP, leaf number and tiller number at 42 DAP, and yield (6.76 t/ha). The combination of <i>A. microphylla</i> + PGPR increased NPK uptake in rice plants to levels equivalent to chemical fertilizer application (Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha), supplying 72.59 kg N, 101 kg P, and 7.71 kg K per hectare. Therefore, the <i>A. microphylla</i> application has the potential as organic fertilizer thus reducing the chemical fertilizer usage.
Kata Kunci: <i>Azolla microphylla</i> , Limbah jamur, Pupuk alternatif, <i>Sesbania sesban</i>	Padi merupakan komoditas yang sangat penting, beras yang dihasilkan dari padi merupakan makanan pokok bagi penduduk Indonesia. Namun produksi beras nasional semakin turun, disebabkan penggunaan pupuk anorganik berlebihan yang menyebabkan penurunan kualitas tanah. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian pemenuhan kebutuhan hara padi melalui pemberian berbagai pupuk organik dan (PGPR) Plant Growth Promoting Rhizobacteria sebagai alternatif. Penelitian dilakukan dari Juni - Oktober 2024 di Kebun Percobaan Jatimulyo, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Penelitian menggunakan Rancangan Petak Terbagi (RPT) yang terdiri dari anak petak (Urea + NPK dosis petani), (Urea + NPK rekomendasi), limbah jamur, <i>Azolla microphylla</i> , <i>Sesbania sesban</i> dan <i>Azolla microphylla</i> + <i>Sesbania sesban</i> dan petak utama tanpa PGPR dan 15 ml/l PGPR. Data dianalisis menggunakan Rancangan Petak Terbagi (RPT) taraf

5%. Uji lanjut menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT). Hasil penelitian menunjukkan perlakuan pupuk organik *A. microphylla* memberikan hasil terbaik pada parameter tinggi tanaman umur 74 hst, jumlah daun dan jumlah anakan umur 42 hst dan produktivitas dengan hasil 6,76 ton/ha. Kombinasi pupuk organik *A. microphylla* + PGPR mampu meningkatkan serapan hara N, P dan K tanaman padi setara dengan pupuk kimia (Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha) dan mampu menyediakan unsur hara N 72,59 kg, P 101 kg dan K 7,71 kg per hektar tanaman padi. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk *A. microphylla* berpotensi digunakan sebagai pupuk sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk kimia.

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas yang sangat penting di Indonesia. Hal ini dikarenakan beras yang dihasilkan dari padi merupakan makanan pokok bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Ketersediaan beras mempengaruhi ketahanan pangan nasional, sehingga keberlanjutan produksi padi menjadi prioritas utama bagi petani maupun pemerintah, terutama karena jumlah penduduk Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik jumlah penduduk Indonesia dari tahun 2022 sampai tahun 2024 mengalami peningkatan hingga 5,8 juta jiwa (BPS, 2024). Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk setiap tahun, kebutuhan beras pun terus bertambah, namun produksi beras di Indonesia menunjukkan tren penurunan. Tahun 2023 produksi beras untuk konsumsi pangan penduduk diperkirakan sekitar 30,90 juta ton, mengalami penurunan sebanyak 645,09 ribu ton atau 2,05% dibandingkan produksi beras di 2022 yang sebesar 31,54 juta ton (BPS, 2023).

Faktor yang mempengaruhi penurunan produksi beras antara lain karena produktivitas padi mengalami kejemuhan produksi yang menyebabkan penggunaan pupuk anorganik menjadi tidak efisien. Hal ini disebabkan telah terjadi penurunan kesehatan tanah yang berkaitan dengan penggunaan pupuk anorganik dalam jumlah banyak pada jangka waktu lama (Fidiansyah dkk., 2021). Selain itu, pengolahan lahan yang intensif terutama pada lahan sawah juga dapat menurunkan kualitas tanah baik dari segi fisik, kimia maupun biologi. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan tanah yang berlebihan menjadi penyebab utama terjadinya kerusakan struktur tanah dan kekakahan kandungan bahan organik tanah (Jambak *et al.*, 2017). Kandungan bahan organik tanah (BOT) pertanian di Indonesia saat ini sudah jauh dari ideal dengan

penurunan lebih dari 40%, yang disebabkan penggunaan pupuk kimia berlebih dan kurangnya penambahan bahan organik tanah. Penggunaan pupuk kimia seperti N berlebih juga menjadi penyumbang utama penurunan kesuburan tanah, hal ini dikarenakan N mempercepat mikroba dalam mengurai bahan organik dalam tanah (Sudjana, 2013).

Pupuk nitrogen umumnya dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan unsur lain karena N berperan dalam meningkatkan fotosintesis, penyusun asam amino dan protein serta mendorong pertumbuhan vegetatif (Mu & Chen, 2021). Pada tanaman padi, N berperan dalam meningkatkan jumlah daun, jumlah anakan, jumlah malai dan meningkatkan hasil tanaman padi (Zhou *et al.*, 2022). Pemenuhan kebutuhan hara N tanaman padi tidak hanya didapatkan dari pupuk anorganik namun juga dapat berasal dari pupuk organik seperti limbah produksi maupun tanaman liar yang belum termanfaatkan. Salah satu biomassa yang sekarang belum termanfaatkan dengan baik adalah limbah jamur (Dharma, 2013). Limbah jamur dilaporkan mengandung C-organik yang relatif tinggi, sehingga dapat berperan dalam meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Putri dkk., 2022). Penggunaan pupuk organik limbah jamur sebagai pupuk dasar dapat menyediakan unsur hara bagi tanaman dan meningkatkan bahan organik tanah. Pemanfaatan limbah jamur sebagai pupuk dasar secara terus menerus dapat meningkatkan bahan organik tanah dan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah sehingga tanaman dapat tumbuh dengan maksimal. Manfaat lain dari penggunaan limbah jamur dari industri jamur di Jawa Timur sebagai pupuk organik adalah dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat penumpukan limbah, dengan mendaur ulangnya untuk keperluan pertanian (Tawakal *et al.*, 2025). Selain limbah jamur terdapat juga tanaman liar

yang memiliki sumber hara N yang tinggi namun belum termanfaatkan dengan baik seperti *Azolla microphylla* dan *Sesbania sesban*.

Azolla dan *Sesbania* dapat dijadikan sebagai pupuk penyedia nitrogen bagi pertumbuhan tanaman padi sawah dikarenakan mengandung nitrogen yang cukup tinggi dan tahan pada kondisi tergenang. Kandungan unsur hara terutama nitrogen pada tanaman *Sesbania* dapat dijadikan sebagai pupuk hijau bagi tanaman padi yang dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik (Karachi & Matata, 2000). *S. sesban* pada umur 30 hari dapat mengandung nitrogen sebesar 3,4-4,4% N dengan berat kering 0,8-3,9 g/tanaman (Ghai *et al.*, 1993). Selain pupuk hijau *S. sesban*, pupuk hijau dari tanaman *Azolla* juga banyak dimanfaatkan sebagai pupuk hijau penyedia nitrogen. *Azolla* merupakan pupuk hijau yang paling banyak ditumpangsaikan dengan tanaman padi. Hal ini dikarenakan *Azolla* sp. memiliki C/N rasio yang cukup rendah sehingga mudah terdekomposisi saat diterapkan. Diketahui C/N ratio *Azolla* sp. sekitar 9,5 – 10,4 dengan kandungan unsur hara yaitu N (1,96-5,30%), P (0,16-1,59%), K (2,366%) Si (0,16-3,35%), Ca (0,31-0,97%), Fe (0,04-0,59%) dan Mg (0,22-0,66%) (Surdina dkk., 2016). Penggunaan pupuk organik limbah jamur, pupuk hijau *Azolla* dan *S. sesban* dapat dikombinasikan dengan pupuk hayati/biofertilizer (PGPR).

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) merupakan kelompok bakteri menguntungkan yang mengkolonisasi rizosfer dan mengandung konsorsium berbagai jenis bakteri yang bermanfaat seperti *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Azotobacter* sp. dan *Azospirillum* sp. (PGPR) memiliki kemampuan untuk bertindak pada residu tanaman dimana mereka terlibat dalam proses dekomposisi dan mineralisasi molekul organik kompleks sehingga dapat dikombinasikan dengan berbagai pupuk alami. PGPR dapat memfiksasi nitrogen, pelarutan fosfat dan menghasilkan berbagai hormon tumbuh serta menghasilkan antibiosis sebagai *bioprotectant* sehingga tanaman dapat berproduksi maksimal (Tyasmoro, 2023). Beberapa jenis bakteri PGPR memiliki kemampuan dalam menyediakan N bagi tanaman seperti bakteri *Azospirillum* sp. yang memiliki kemampuan untuk memfiksasi N bebas di udara dan menghasilkan N tersedia bagi tanaman (Cassán & Diaz-Zorita, 2016). Terdapat juga bakteri *Azotobacter* sp. yang mampu mengubah N bebas menjadi NH_4^+ dan NO_3^- yang siap diserap oleh tanaman sehingga dapat meningkatkan kebutuhan N padi (Aasfar *et al.*, 2021). Oleh karena

itu perlu dilakukan penelitian dengan perlakuan pemberian berbagai jenis pupuk organik penyedia N dan dikombinasikan dengan PGPR sehingga diperoleh kombinasi perlakuan terbaik dalam menyediakan hara N tanaman padi serta mengurangi penurunan hasil panen padi.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dari bulan Juni-Oktober 2024 lokasi penelitian terletak di Kebun Percobaan Jatimulyo, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Ketawanggede, Kelurahan Jatimulyo, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Provinsi Jawa Timur 65145, Indonesia. Kondisi lingkungan di Kebun Percobaan Jatimulyo selama penelitian, suhu rata-rata harian 26–28 °C, curah hujan 14–195 mm, dengan jenis tanah dominan liat berlempung, pH tanah 6,7 dan kandungan N-total 0,15%. Penelitian ini menggunakan bahan berupa bibit padi varietas Inpari 32, serta berbagai jenis pupuk seperti urea, NPK, pupuk organik dari limbah jamur, pupuk hijau *A. microphylla*, pupuk hijau *S. sesban*, dan PGPR (koleksi dan formulasi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya). Adapun peralatan yang digunakan meliputi leaf area meter (LAM), oven, timbangan analitik, kamera, dan alat pengukur klorofil (SPAD).

Metode Penelitian

Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Petak Terbagi (RPT) yang terdiri dari anak petak dan petak utama. Petak utama berupa aplikasi formulasi PGPR yaitu: R0 = tanpa PGPR dan R10 = 15 ml/l PGPR. Anak petak berupa perlakuan pupuk organik: P0 = pemupukan kebiasaan petani (500 kg/ha urea + 500 kg/ha NPK), P1 = rekomendasi permentan (275 kg/ha Urea + 250 kg/ha NPK), P2 = pupuk limbah jamur 19,19 ton/ha, P3 = pupuk limbah jamur 10 ton/ha + *A. microphylla* segar 29,10 ton/ha, P4 = pupuk limbah jamur 10 ton/ha + *S. sesban* segar 8,90 ton/ha dan P5 = pupuk limbah jamur 10 ton/ha + *A. microphylla* 14,55 ton/ha + *S. sesban* segar 4,45 ton/ha. Total kombinasi perlakuan utama dan anak petak terdiri dari 12 kombinasi perlakuan yang diulang sebanyak 3 kali sehingga terdapat 36 petak perlakuan. Setiap petak perlakuan terdapat 160 rumpun tanaman padi dengan 3 sampel yang diambil setiap kali pengamatan.

Pelaksanaan Penelitian

Benih yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih padi Inpari 32. Benih direndam dalam air selama 24 jam; benih yang mengapung (menandakan tidak berisi) dibuang, sementara hanya benih yang tenggelam yang digunakan untuk proses pemeraman. Pemeraman dilakukan selama 1 x 24 jam untuk mempercepat proses imbibisi. Penyemaian padi dilakukan dengan sistem persemaian kering. Petak persemaian terdiri dari bedengan berukuran sedang 5 x 12 m dan tinggi media sekitar 5 cm. Benih padi direndam dalam air selama 24 jam kemudian dikering anginkan selama 5 jam kemudian benih yang telah diperam ditabur secara merata di media semai dengan kerapatan 75 g/m².

Persiapan tempat penanaman dimulai dengan olah tanah terlebih dahulu dengan membajak dan perataan tanah. Selanjutnya pengaturan petak tanam dan jarak tanam. Jarak antar petakan 50 cm, sehingga perlakuan di antara petak tidak saling mempengaruhi. Pembuatan petak percobaan dipisah dengan pematang sawah dengan panjang petakan 3 m dan lebar 2 m. Total petakan yang dibuat sebanyak 36 petak. Setiap petak perlakuan mempunyai saluran air yang berbeda untuk mencegah pengaruh perlakuan antar petakan. Penanaman dilakukan secara manual dengan 2 bibit per lubang tanam, pindah tanam dilakukan pada saat bibit berumur 20 hari setelah semai atau saat bibit sudah memiliki 4-5 helai daun.

Penyulaman dilakukan paling lambat 1 hari setelah pindah tanam dengan menggunakan bibit cadangan. Bibit berumur 20 hari di persemaian kemudian ditanam dengan kondisi lahan berlumpur dan tidak tergenang dengan sistem jajar legowo 2:1 jarak tanam 20 x 12,5 cm dan legowo 40 cm. Pemupukan diberikan sesuai perlakuan yang diberikan. Aplikasi pupuk dimulai dari umur 0 MST sampai umur 6 MST. Perlakuan pemupukan limbah jamur diberikan pada petakan sebelum pindah tanam (0 MST), perlakuan pemupukan *A. microphylla* dan PGPR diberikan saat 1 MST, perlakuan pemupukan pupuk kimia dan PGPR dilakukan saat padi berumur 2 MST, perlakuan pemupukan kimia dilakukan saat padi berumur 4 MST, dan perlakuan *S. sesban* dilakukan saat padi berumur 6 MST. Pengairan dilakukan secara berkala (sesuai dengan kebutuhan tanaman) dengan frekuensi 1-2 hari sekali.

Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan terdiri dari parameter pertumbuhan, parameter panen dan parameter fisiologis, pengamatan dilakukan dengan interval 14

hari. Pengamatan mulai dilakukan pada saat tanaman berumur 32 HST (hari setelah transplanting) sampai umur 74 HST, sedangkan pengamatan saat waktu panen dilakukan pada umur 102 HST. Parameter pertumbuhan yang diamati meliputi tinggi tanaman yang diukur dari pangkal padi sampai ujung daun, jumlah daun dihitung secara manual pada daun yang telah membuka sempurna dan jumlah anakan dihitung sebagai jumlah tunas produktif dan non-produktif per rumpun (Rahman *et al.*, 2025). Parameter panen meliputi jumlah gabah isi yang dihitung dengan memisahkan gabah bernes dan hampa, berat gabah per malai ditimbang dari satu malai yang telah dikeringkan, berat gabah per tanaman ditimbang dari satu rumpun yang telah dikeringkan, rendemen beras dihitung dari perbandingan berat beras giling terhadap berat gabah kering giling dan produktivitas ton/ha dihitung berdasarkan hasil gabah per petak yang dikonversi ke hektar (Zhao *et al.*, 2025).

Parameter fisiologis meliputi kandungan klorofil daun yang diukur menggunakan SPAD meter secara non-destructif (Vishwakarma *et al.*, 2023), serapan hara diamati dengan dikeringkan jaringan tanaman pada suhu oven 60 °C, digiling, lalu dianalisis kandungan N, P dan K (Sari *et al.*, 2024). Parameter penunjang berupa kandungan hara N, P, dan K total *A. microphylla* diamati dengan menimbang 1 kg biomassa *A. microphylla* lalu dikeringkan pada suhu oven 60 °C, dihancurkan kemudian dianalisis. Data dianalisis berdasarkan Rancangan Petak Terbagi (RPT) dengan taraf signifikansi 5%. Jika terdapat interaksi maupun pengaruh yang signifikan dari perlakuan, maka dilakukan uji lanjut menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) guna mengidentifikasi perbedaan antar perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Organik dan PGPR terhadap Parameter Pertumbuhan Tanaman Padi

Berdasarkan hasil analisis ragam, tidak terdapat interaksi antara aplikasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan pupuk organik sebagai sumber nitrogen terhadap tinggi tanaman padi (Tabel 1), jumlah daun (Tabel 2), maupun jumlah anakan (Tabel 3) pada seluruh umur pengamatan. Namun demikian, perlakuan pupuk organik penyedia N memberikan pengaruh mandiri pada pertumbuhan tanaman pada umur 32, 42, 60,

dan 74 HST. Pertumbuhan tanaman padi akibat perlakuan aplikasi PGPR dan pemberian berbagai jenis pupuk penyedia N tersaji pada Gambar 1.

Aplikasi PGPR 15 ml/l tidak menunjukkan pengaruh signifikan (ns) terhadap tinggi tanaman padi pada semua umur pengamatan (32, 42, 60, dan 74 HST) (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik, PGPR belum mampu meningkatkan tinggi tanaman secara nyata, meskipun terdapat sedikit peningkatan numerik. Kurangnya pengaruh

PGPR pada parameter tinggi tanaman padi dapat disebabkan oleh faktor lingkungan maupun biologi, dari sisi lingkungan lahan sawah yang tergenang dapat mengganggu produksi eksudat akar oleh tanaman yang merupakan sumber makanan bagi bakteri PGPR untuk berkembang (Yu *et al.*, 2022), pada sisi biologi PGPR bekerja secara bertahap dan tergantung kondisi tanah dan mikroba lain dalam tanah.

Tabel 1. Tinggi tanaman padi akibat aplikasi PGPR dan berbagai pupuk penyedia N.

PGPR	Tinggi Tanaman Padi (cm) pada Umur (HST)			
	32	42	60	74
Tanpa PGPR	33,21 ns	49,69 ns	53,73 ns	64,76 ns
PGPR 15 ml/l	33,61 ns	49,10 ns	54,26 ns	65,53 ns
KK %	5,70%	6,09%	6,58%	5,73%
Pupuk Penyedia N				
Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha	39,49 c	63,32 e	71,06 d	79,16 c
Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha	38,28 c	55,82 d	60,49 c	68,57 b
Limbah Jamur	29,71 a	42,78 ab	46,94 ab	59,78 a
<i>A. microphylla</i>	33,48 b	48,26 c	51,53 b	64,29 ab
<i>S. sesban</i>	28,29 a	41,09 a	45,59 a	57,73 a
<i>S. sesban</i> + <i>A. microphylla</i>	30,49 ab	45,11 bc	48,37 ab	61,33 a
KK (%)	7,61%	6,10%	7,17%	7,78%

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. HST= hari setelah tanam, KK= koefisien keragaman, ns= non-significant.

Tabel 2. Jumlah daun tanaman padi akibat aplikasi PGPR dan berbagai pupuk penyedia N

PGPR	Jumlah Daun (Helai) pada Umur (HST)			
	32	42	60	74
Tanpa PGPR	37,96 ns	56,57 ns	59,46 ns	63,04 ns
PGPR 15 ml/l	36,20 ns	50,33 ns	52,41 ns	63,61 ns
KK %	19,82%	12,06%	6,86%	5,23%
Pupuk Penyedia N				
Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha	47,56 c	86,28 c	95,72 c	101,56 d
Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha	53,00 c	60,44 b	75,39 b	78,72 c
Limbah Jamur	30,33 ab	39,06 a	39,72 a	43,33 a
<i>A. microphylla</i>	36,44 b	52,28 ab	55,28 a	63,56 b
<i>S. sesban</i>	24,22 a	38,39 a	41,89 a	40,39 a
<i>S. sesban</i> + <i>A. microphylla</i>	30,94 ab	44,28 a	50,72 a	53,78 ab
KK %	21,45%	21,89%	20,20%	17,79%

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. HST= hari setelah tanam, KK= koefisien keragaman, ns= non-significant.

Namun demikian, perlakuan pupuk penyedia N berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman (Tabel 1), umur (32, 42, 60, dan 74 HST). Perlakuan Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha memberikan tinggi tanaman tertinggi secara signifikan pada seluruh umur pengamatan. Sedangkan pada perlakuan Urea 275

kg/ha + NPK 250 kg/ha menghasilkan tinggi tanaman lebih rendah dibandingkan dosis penuh, tetapi masih lebih tinggi dibandingkan pupuk organik. Pupuk kimia menyediakan hara tersedia semakin tinggi dosis juga semakin meningkatkan pertumbuhan tanaman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian

Roswy & Sudiarto (2022) yang melaporkan bahwa semakin meningkat dosis pupuk kimia maka tinggi tanaman juga semakin meningkat. Sedangkan pada perlakuan pupuk organik penyedia N perlakuan *S. sesban* dan limbah jamur menghasilkan tinggi tanaman yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan perlakuan Urea + NPK, namun pada perlakuan *A. microphylla* menunjukkan hasil yang cukup kompetitif dibandingkan pupuk anorganik dosis rendah, hal ini disebabkan kemampuan *A. microphylla* dan aktivitas penambatan nitrogen oleh *Anabaena azollae* dalam rongga daun, nitrogen hasil

fiksasi akan didistribusikan ke sel *Azolla* (Surdina dkk., 2016), dari proses fiksasi *Azolla* akan menyediakan Nitrogen bagi tanaman disekitarnya.

Hasil analisis ragam, tidak ditemukan interaksi antara aplikasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan pupuk organik sebagai sumber nitrogen terhadap jumlah daun (Tabel 2 dan Tabel 3) pada seluruh umur pengamatan. Namun demikian, perlakuan pupuk organik penyedia N berpengaruh nyata terhadap jumlah daun dan jumlah anakan umur 32, 42, 60, dan 74 HST.

Tabel 3. Jumlah anakan tanaman padi akibat aplikasi PGPR dan berbagai pupuk penyedia N.

PGPR	Jumlah Anakan (Rumpun) pada Umur (HST)			
	32	42	60	74
Tanpa PGPR	11,80 ns	13,31 ns	14,98 ns	15,80 ns
PGPR 15 ml/l	11,24 ns	12,65 ns	14,09 ns	15,24 ns
KK %	14,94%	20,50%	18,62%	16,40%
Pupuk Penyedia N				
Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha	17,39 c	20,17 c	21,44 b	22,83 b
Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha	15,83 c	13,83 b	19,72 b	20,00 b
Limbah Jamur	8,67 ab	10,56 ab	10,61 a	11,44 a
<i>A. microphylla</i>	9,94 b	12,67 ab	13,00 a	13,56 a
<i>S. sesban</i>	7,44 a	10,00 a	10,56 a	12,67 a
<i>S. sesban</i> + <i>A. microphylla</i>	9,83 b	10,67 ab	11,89 a	12,61 a
KK %	9,67%	16,57%	8,67%	6,75%

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. HST= hari setelah tanam, KK= koefisien keragaman, ns= non-significant.

Peningkatan serapan hara untuk pertumbuhan tanaman padi terjadi pada umur 20-40 HST, sebelum memasuki fase vegetatif pada umur 50 HST. Gambar 1 menunjukkan perbandingan aplikasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan berbagai jenis pupuk penyedia N terhadap pertumbuhan tanaman padi. Aplikasi PGPR 15 ml/l tidak menunjukkan pengaruh signifikan (ns) terhadap jumlah daun dan jumlah anakan padi (Tabel 2 dan Tabel 3), pada semua umur pengamatan (32, 42, 60, dan 74 HST). Tidak terdapatnya pengaruh PGPR pada jumlah daun dan jumlah anakan tanaman padi dapat disebabkan oleh pengaruh lingkungan hidup terhadap bakteri PGPR. Kelompok bakteri PGPR umumnya hidup pada kondisi yang lembab dengan kondisi tanah aerob, namun lahan padi sawah sering tergenang sehingga menciptakan lingkungan yang anaerob sehingga PGPR kurang berkembang (Yu *et al.*, 2022). Hal ini didukung dengan hasil penelitian Permatasari & Sumarni (2022) yang menunjukkan tidak adanya interaksi antara perlakuan pupuk organik dengan PGPR pada kondisi lahan yang tergenang yang

mengakibatkan tidak adanya pengaruh PGPR pada jumlah daun dan jumlah anakan padi.

Pada perlakuan jenis pupuk penyedia nitrogen (Tabel 2) parameter jumlah daun, perlakuan Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha menghasilkan jumlah daun tertinggi secara signifikan di semua umur pengamatan. Demikian pula dengan perlakuan Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha yang juga memberikan hasil tinggi, meskipun lebih rendah dari dosis penuh, namun masih signifikan lebih tinggi dibandingkan perlakuan organik. Hal ini disebabkan pupuk kimia menyediakan unsur hara yang dapat diserap langsung oleh tanaman sehingga tanaman dapat tumbuh lebih cepat (Kuntyastuti & Lestari, 2016). Sementara itu perlakuan *S. sesban* dan limbah jamur menghasilkan jumlah daun yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan perlakuan Urea + NPK. Lebih rendahnya jumlah daun pada perlakuan *S. sesban* dan limbah jamur ini dapat disebabkan tidak efektifnya pupuk organik yang diberikan. Kondisi ini dipicu oleh lahan sawah yang tergenang berlebihan, *S. sesban* diketahui tahan pada kondisi lahan parsial

sedangkan lahan sawah sering tergenang berlebih. Sedangkan perlakuan pupuk limbah jamur yang diberikan awal tanam dapat tercuci oleh pengairan berlebih. Kondisi tersebut menyebabkan tanah kekurangan bahan organik hingga jasad renik berupa kapang dan bakteri yang berfungsi menyuburkan tanah padi sawah menjadi punah (Utami dkk., 2016). Pada perlakuan *A. microphylla* menunjukkan hasil yang cukup kompetitif dibandingkan pupuk anorganik dosis rendah pada semua umur pengamatan, diketahui *A. microphylla* memiliki kapasitas pengikatan nitrogen sebesar 1,1 kg N per

hektar per hari yang cukup untuk memenuhi seluruh kebutuhan N padi pada awal masa vegetatif sampai vegetatif maksimal (Marzouk *et al.*, 2023). Sedangkan pada perlakuan kombinasi *S. sesban* + *A. microphylla* memberikan hasil yang tidak berbeda dengan *A. microphylla* pada umur 32 dan 74 HST, meski jumlah *A. microphylla* pada kombinasi lebih sedikit namun masih dapat menyediakan nutrisi bagi tanaman padi, selain itu, *S. sesban* memiliki kemampuan memfiksasi N bebas apabila dijadikan pupuk hijau pada tanaman padi sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman padi (Naher *et al.*, 2020).



Gambar 1: A = Tanaman padi umur 40 HST, B = pertumbuhan tanaman padi akibat aplikasi berbagai jenis pupuk penyedia N tanpa PGPR, C = pertumbuhan tanaman padi akibat aplikasi berbagai jenis pupuk penyedia N dengan PGPR.

Pada perlakuan jenis pupuk penyedia nitrogen (Tabel 3), parameter jumlah anakan perlakuan Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha menghasilkan jumlah anakan tertinggi secara signifikan di semua umur pengamatan. Sedangkan pada perlakuan Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha juga memberikan hasil tinggi, meskipun lebih rendah dari dosis penuh, namun masih signifikan lebih tinggi dibandingkan perlakuan organik. Peningkatan jumlah anakan padi pada perlakuan pupuk kimia disebabkan kandungan hara yang lengkap seperti N, P dan K, terutama unsur N pada pupuk urea yang berperan secara langsung dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif seperti jumlah anakan pada tanaman padi (Fikriawan dkk., 2024). Sedangkan pada perlakuan pupuk organik penyedia N perlakuan *S. sesban* dan limbah jamur menghasilkan jumlah anakan yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan perlakuan Urea + NPK, penurunan jumlah anakan padi pada perlakuan *S. sesban* diduga karena pengairan tiap hari yang dilakukan selama penelitian sehingga pertumbuhan *S. sesban* kurangnya maksimal dan mengurangi kemampuannya dalam memfiksasi N di udara, hal ini juga sama dengan perlakuan limbah jamur yang dapat

tercuci akibat genangan berlebihan. Sedangkan pada perlakuan *A. microphylla* menunjukkan hasil jumlah anakan yang cukup kompetitif dibandingkan pupuk anorganik dosis rendah pada umur 34 dan 42. Peningkatan jumlah anakan padi pada perlakuan *A. microphylla* diduga disebabkan kemampuannya dalam bersimbiosis dengan bakteri *Anabaena azollae* untuk memfiksasi N bebas dan melepaskan N yang siap diserap pada tanaman disekitarnya (Tyasmoro, 2023). Didukung dengan pendapat Razavipour *et al.*, (2018) penggunaan kompos *Azolla* menghasilkan produksi anakan tanaman padi yang lebih besar dibandingkan dengan tidak ada aplikasi *Azolla* sp. Pada perlakuan kombinasi *S. sesban* + *A. microphylla* memberikan hasil yang tidak berbeda dengan *A. microphylla* pada umur 32 dan 42 HST. Peningkatan jumlah anakan padi dipengaruhi kandungan N yang cukup tinggi pada tanaman *Azolla* sp. *Azolla* sp. dapat menyumbangkan unsur nitrogen bagi tanaman padi baik melalui proses fiksasi maupun dari proses dekomposisi. Dengan demikian, semakin tinggi takaran *Azolla* yang diberikan, maka akan semakin bertambah pula pertumbuhan tanaman padi (Prasoj & Tyasmoro, 2022).

Pada parameter pengamatan jumlah daun dan jumlah anakan (Tabel 2 dan Tabel 3) umur 32–42 HST memiliki nilai keragaman cukup tinggi, hal ini dikarenakan tanaman masih dalam tahap pertumbuhan vegetatif awal, sehingga respons tanaman terhadap perlakuan atau kondisi lingkungan belum seragam karena perbedaan dalam daya tumbuh, vigor dan adaptasi awal tanaman. Menjelang fase generatif (60–74 HST), perbedaan antar tanaman menyempit. Hal ini terjadi karena tanaman sudah menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan dan perlakuan pemupukan mulai stabil. Faktor pertumbuhan awal seperti perbedaan jumlah daun dan jumlah anakan mulai terkompensasi oleh perkembangan selanjutnya. Selain itu, pengaruh perlakuan seperti pasokan hara dari pupuk organik maupun PGPR dapat berlebih atau tidak cukup untuk pertumbuhan padi dan tidak sinkron dengan

kebutuhan N tanaman sehingga kebutuhan hara bagi pertumbuhan tanaman dapat terpenuhi ataupun kurang (Moe *et al.*, 2019). Hal ini memungkinkan respon tanaman berbeda-beda pada peningkatan nilai keragaman tanaman.

Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Organik dan PGPR terhadap Parameter Panen Tanaman Padi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman padi sawah yang diberi perlakuan PGPR tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada beberapa parameter panen, seperti jumlah gabah isi, berat gabah per malai, berat gabah per tanaman, rendemen beras dan hasil panen ton/ha. Komponen hasil padi akibat perlakuan pemberian PGPR dan pupuk organik penyedia N tersaji pada (Tabel 4) dan Gambar 2.

Tabel 4. Komponen hasil tanaman padi yang diperlakukan dengan aplikasi PGPR dan berbagai pupuk penyedia N.

PGPR	Jumlah gabah isi (butir/tan)	Bobot Gabah (g/malai)	Bobot Gabah (g/tan)	Rendemen Beras (%)	Hasil (ton/ha)
Tanpa PGPR	883,47 ns	2,03 ns	23,21 ns	0,65 ns	6,19 ns
PGPR 15 ml/l	997,49 ns	2,16 ns	25,83 ns	0,68 ns	6,89 ns
KK %	12,17%	5,01%	8,62%	5,25%	8,62%
Pupuk Penyedia N					
Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha	1421,67 d	2,40 c	36,79 e	0,66 ns	9,81 e
Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha	1044,78 c	2,21 bc	29,49 d	0,63 ns	7,87 d
Limbah Jamur	581,67 a	1,84 a	15,49 a	0,68 ns	4,13 a
<i>A. microphylla</i>	961,72 bc	2,13 b	25,33 cd	0,66 ns	6,76 cd
<i>S. sesban</i>	692,56 a	2,05 ab	18,78 ab	0,68 ns	5,01 ab
<i>S. sesban</i> + <i>A. microphylla</i>	859,39 b	1,95 ab	21,23 bc	0,67 ns	5,66 bc
KK %	7,57%	10,03%	16,19%	7,18%	16,19%

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. HST= hari setelah tanam, KK= koefisien keragaman, ns= non-significant.

Aplikasi PGPR 15 ml/l tidak menunjukkan pengaruh signifikan (ns) terhadap semua parameter hasil (Tabel 4) meliputi jumlah gabah isi, berat gabah per malai, berat gabah per tanaman, rendemen beras dan hasil panen ton/ha. Walaupun secara numerik terjadi peningkatan pada semua komponen hasil dibandingkan kontrol, peningkatan tersebut tidak signifikan secara statistik. Hal ini dikarenakan pertumbuhan PGPR sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, salah satunya adalah ketersediaan nutrisi mineral, selain itu kandungan N amonia yang rendah dan unsur C yang tinggi, memungkinkan terjadi penambahan energi pada bakteri PGPR untuk dapat berkembang. Organisme

heterotrof bebas seperti *Azotobacter* dan *Azospirillum* tidak dapat melakukan fotosintesis, sehingga ketersediaan karbon dalam tanah menjadi faktor pembatas utama bagi proses fiksasi nitrogen (N₂) oleh bakteri non-simbiotik sehingga PGPR tidak berpengaruh (Chaerunnisa dkk., 2018).

Pada komponen hasil (Tabel 4) perlakuan Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha memberikan hasil tertinggi secara signifikan untuk semua komponen hasil, kecuali rendemen beras (yang tidak berbeda nyata). Pemberian dosis pupuk maksimal pada tanaman padi dapat meningkatkan hasil tanaman padi, terutama pada pemberian N yang semakin tinggi akan menekan serapan unsur yang lain. Jika

penyerapan unsur lain seperti unsur makro P dan K terhambat, maka akan berakibat pada hasil tanaman (Ambarita dkk., 2017). Pada perlakuan Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha menunjukkan hasil menengah, namun masih signifikan lebih tinggi dibandingkan bahan organic. Rendahnya hasil padi pada tanaman yang diberi pupuk kimia dosis sedang dikarenakan pada perlakuan dosis pupuk yang lebih rendah juga ikut mempengaruhi hasil. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Ambarita dkk., (2017) dosis pupuk Urea dan NPK yang lebih rendah juga memberikan hasil yang lebih rendah pada tanaman padi. Sedangkan pupuk organik seperti limbah jamur

dan *S. sesban* menghasilkan komponen hasil yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan pupuk anorganik, terutama dalam hal bobot dan jumlah gabah. Rendahnya hasil padi pada perlakuan *S. sesban* dan limbah jamur dapat disebabkan nutrisi yang dihasilkan dan disediakan dalam jumlah lebih sedikit, limbah jamur mengandung hara yang cukup rendah yaitu P 0,7%, K 0,2%, N 0,6% dan C-organik 49,00% (Astuti dkk., 2021), selain itu lahan tergenang memungkinkan terjadi denitrifikasi dimana NO_3^- menjadi N_2 kondisi ini sering terjadi pada lahan sawah (Tyasmoro, 2023).



Gambar 2. Hasil tanaman padi akibat aplikasi PGPR dan pupuk penyedia N. A1 = malai padi yang diperlakukan dengan berbagai pupuk penyedia N (P0=Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha, P1=Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha, P2=Limbah jamur, P3=*A. microphylla*, P4=*S. sesban* dan P5=*S. sesban* + *A. microphylla*), A2 = malai padi yang diperlakukan dengan aplikasi berbagai pupuk penyedia N dan PGPR (R10), B1 = gabah padi yang diperlakukan dengan aplikasi berbagai pupuk penyedia N, B2 = gabah padi yang diperlakukan dengan aplikasi berbagai pupuk penyedia N dan PGPR.

Pengaruh perlakuan *A. microphylla* pada tanaman padi menunjukkan hasil jumlah anakan yang tidak berbeda dengan pupuk anorganik dosis rendah terutama pada parameter jumlah gabah isi, berat gabah per malai, berat gabah per tanaman dan hasil panen ton/ha (Tabel 4). Peningkatan hasil panen padi pada perlakuan *A. microphylla* dipengaruhi kandungannya hara yang tinggi, hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian kandungan hara *A. microphylla* kombinasi *A. microphylla* + PGPR menghasilkan N 72,59 kg, P 100,9 kg dan K 7,71 kg, selain itu peningkatan biomassa *A. microphylla* juga dapat meningkatkan hasil padi (Tabel 9). Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Tyasmoro & Saitama (2023) yang menunjukkan bahwa pemberian *Azolla* dengan dosis maksimal 6.800 kg/ha mampu meningkatkan produktivitas

tanaman padi sebesar 10-20,5%. Sementara itu, perlakuan kombinasi *S. sesban* + *A. microphylla* memberikan hasil yang tidak berbeda dengan *A. microphylla* pada komponen hasil kecuali rendemen beras. Peningkatan hasil pada perlakuan tersebut diduga karena kemampuan *S. sesban* dan *A. microphylla* dalam memfiksasi N_2 di udara sehingga padi dapat menyerap hara selama proses vegetatif dan termanfaatkan dengan baik pada fase generatif. *Sesbania* merupakan tanaman yang tergolong tanaman leguminosa yang mampu memfiksasi N_2 di udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman melalui bantuan bakteri pada bintil akar tanaman. (Rashid *et al.*, 2018). Diketahui tanaman *A. microphylla* yang ditanam tumpangsari dengan tanaman padi dapat memfiksasi N_2 di udara (Chanapanchai *et al.*, 2025). Pada parameter

rendemen beras tidak terdapat perlakuan yang menunjukkan perbedaan nyata (semua non-signifikan), dengan nilai berkisar antara 0,63–0,68%. Rendemen beras dipengaruhi oleh tingkat kematangan gabah dan kebersihan gabah, hal ini menunjukkan bahwa gabah yang digiling sudah matang sempurna dan gabah padi banyak terisi bulir.

Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Organik dan PGPR terhadap Parameter Fisiologis

Hasil analisis ragam serapan hara tanaman menunjukkan terdapat interaksi pada aplikasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan pupuk organik sebagai sumber nitrogen terhadap serapan hara N (Tabel 5), serapan hara P (Tabel 6) dan serapan hara K (Tabel 7). Aplikasi PGPR 15 ml/l meningkatkan serapan N (Tabel 5) pada sebagian besar perlakuan pupuk dibandingkan tanpa PGPR, terutama pada P0 (urea + NPK dosis penuh). PGPR diketahui mengandung berbagai jenis bakteri seperti *Azotobacter* yang memiliki kemampuan dalam memfiksasi N₂ di udara, *Azotobacter* memiliki efisiensi dalam memperbaiki sekitar 20 kg N/ha/per

tahun dan dengan demikian dapat digunakan dalam produksi tanaman sebagai alternatif untuk setidaknya sebagian pupuk nitrogen mineral (Esmailpour *et al.*, 2013). Kombinasi PGPR + P0 (500 kg/ha Urea + 500 kg/ha NPK) menghasilkan serapan N tertinggi (9,45 g/tanaman), dan berbeda sangat nyata dibandingkan semua perlakuan lainnya. Kombinasi pupuk penyedia N memungkinkan padi mendapat 2 sumber hara yaitu dari pupuk kimia dan juga dari bakteri PGPR walau dalam jumlah lebih sedikit. *Azospirillum* sp. pada PGPR juga memiliki kemampuan untuk menyediakan N melalui fiksasi, inokulasi *Azospirillum* sp. dapat berkontribusi dalam meningkatkan keseimbangan N tanaman padi (Cassán & Diaz-Zorita, 2016). Secara umum, pemberian PGPR meningkatkan efisiensi serapan hara nitrogen, meskipun tidak semua kombinasi menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini diduga bakteri PGPR tidak hanya berperan dalam memfiksasi namun juga dapat memecah bahan organik tanah sehingga hara dapat tersedia (Tyasmoro., 2023).

Tabel 5. Serapan hara N tanaman padi sebagai pengaruh dari aplikasi PGPR dan berbagai pupuk penyedia N

PGPR	Serapan Unsur N (g tan ⁻¹)					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Tanpa	6,59 de	7,07 e	2,67 a	5,54 cd	3,35 ab	4,41 bc
PGPR	A	B	A	A	A	A
PGPR	9,45 c	5,38 b	3,21 a	6,08 b	2,81 a	4,92 b
15 ml/l	B	A	A	A	A	A
KK-a %				27,24%		
KK-b %				20,78%		

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama yaitu pada baris dan huruf kapital dalam kolom perlakuan menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. KK= koefisien keragaman. P0: 500 kg/ha Urea + 500 kg/ha NPK; P1: 275 kg/ha Urea + 250 kg/ha NPK; P2: limbah jamur, P3: *A. microphylla*, P4: *S. sesban*, P5: *A. microphylla* dan *S. sesban*.

Tabel 6. Serapan hara P tanaman padi sebagai pengaruh dari aplikasi PGPR dan berbagai pupuk penyedia N

PGPR	Serapan Unsur P (g tan ⁻¹)					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Tanpa	1,16 c	1,11 c	0,06 a	1,01 c	0,71 b	0,67 b
PGPR	A	B	A	A	A	A
PGPR	1,59 e	0,74 bc	0,16 a	1,12 d	0,53 b	0,81 c
15 ml/l	B	A	A	A	A	A
KK-a %				26,55%		
KK-b %				22,76%		

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama yaitu pada baris dan huruf kapital dalam kolom perlakuan menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. KK= koefisien keragaman. P0: 500 kg/ha Urea + 500 kg/ha NPK; P1: 275 kg/ha Urea + 250 kg/ha NPK; P2: limbah jamur, P3: *A. microphylla*, P4: *S. sesban*, P5: *A. microphylla* dan *S. sesban*.

Tanaman padi yang diberi perlakuan tanpa PGPR memiliki nilai serapan N tertinggi ditunjukkan pada perlakuan kombinasi P1 (urea + NPK dosis rendah) sebanyak 7,07 g/tanaman dan P0 (urea + NPK dosis penuh) sebanyak 6,59 g/tanaman (Tabel 5). Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi tanpa PGPR, efektivitas pupuk organik maupun pupuk kimia masih terbatas dalam meningkatkan penyerapan N oleh tanaman. Perlakuan dengan PGPR 15 ml/l memberikan hasil serapan N tertinggi diperoleh pada kombinasi P0 (urea + NPK dosis penuh) sebanyak 9,45 g/tanaman kemudian diikuti perlakuan P3 (*A. microphylla*) 6,08 g/tanaman. Peningkatan serapan N ini menunjukkan peran PGPR dalam membantu proses fiksasi nitrogen dan memperbaiki aktivitas mikroba tanah yang berpengaruh pada ketersediaan hara N. Secara umum, pemberian PGPR meningkatkan efisiensi serapan hara nitrogen, meskipun tidak semua kombinasi menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini

diduga bakteri PGPR tidak hanya berperan dalam memfiksasi namun juga dapat memecah bahan organik tanah sehingga hara dapat tersedia (Tyasmoro., 2023). Kombinasi PGPR dengan pupuk organik P3 (*A. microphylla*) setara pupuk anorganik tanpa PGPR (P0), hal ini memperlihatkan peningkatan serapan N yang cukup signifikan dibandingkan tanpa PGPR yang menunjukkan potensi besar dalam mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik dengan tetap mempertahankan efisiensi penyerapan N tanaman. Nyein & Iwai, (2025) melaporkan bahwa *A. microphylla* selain memfiksasi N di udara juga dapat menyerap nutrisi dari air dan mendegradasinya di dalam sel tanaman. Nutrisi utama dalam air nitrogen dan fosfor, dan *A. microphylla* dapat menyerap nutrisi ini, sehingga penggunaan *A. microphylla* sebagai pupuk organik dapat meningkatkan serapan unsur hara tanaman.

Tabel 7. Serapan hara K tanaman padi sebagai pengaruh dari aplikasi PGPR dan berbagai pupuk penyedia N

PGPR	Serapan Unsur K (g tan ⁻¹)					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Tanpa	0,10 c	0,10 c	0,04 a	0,05 ab	0,06 b	0,06 ab
PGPR	A	B	A	A	A	A
PGPR 15 ml/l	0,13 d	0,07 b	0,05 a	0,10 c	0,05 a	0,06 b
KK-a %				24,29%		
KK-b %				20,45%		

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama yaitu pada baris dan huruf kapital dalam kolom perlakuan menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. KK= koefisien keragaman. P0: 500 kg/ha Urea + 500 kg/ha NPK; P1: 275 kg/ha Urea + 250 kg/ha NPK; P2: limbah jamur, P3: *A. microphylla*, P4: *S. sesban*, P5: *A. microphylla* dan *S. sesban*.

Sama halnya dengan parameter kandungan nitrogen, aplikasi PGPR dan berbagai jenis pupuk penyedia nitrogen menunjukkan interaksi terhadap serapan hara P tanaman padi. Secara umum, perlakuan dengan PGPR 15 ml/l memberikan nilai serapan hara P yang lebih tinggi dibandingkan tanpa PGPR pada sebagian besar jenis pupuk, terutama pada perlakuan PGPR + P0 (urea + NPK dosis penuh). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi PGPR mampu meningkatkan ketersediaan dan penyerapan unsur hara fosfor oleh tanaman padi. Peningkatan ini disebabkan PGPR dapat menghasilkan asam-asam organik membentuk khelat organik yang stabil sehingga mampu membebaskan ion fosfat yang terikat menjadi tersedia bagi tanaman (Candra & Subagiono, 2020), sehingga pupuk kimia yang diberikan juga lebih efektif. Secara umum, pemberian PGPR meningkatkan efisiensi serapan hara P,

meskipun tidak semua kombinasi menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dilaporkan bahwa kandungan bakteri *Pseudomonas fluorescens* pada PGPR dapat berperan dalam melarut fosfat sehingga mampu meningkatkan serapan hara P tanaman padi (Gade & Kocher, 2022).

Pada perlakuan tanpa PGPR (Tabel 6), nilai serapan P tertinggi diperoleh pada kombinasi P0 (urea + NPK dosis penuh) sebesar 1,16 g/tanaman, P1 (urea + NPK dosis rendah) sebesar 1,11 g/tanaman, dan P3 (*A. microphylla*) sebesar 1,01 g/tanaman. Sementara pada perlakuan dengan PGPR 15 ml/l, serapan P tertinggi diperoleh pada kombinasi P0 (urea + NPK dosis penuh) 1,59 g/tanaman dan P3 (*A. microphylla*) 1,12 g/tanaman. Peningkatan serapan P ini menunjukkan peran PGPR dalam penyerapan hara P. Hal ini juga tidak terlepas dari peran bakteri PGPR terutama *Pseudomonas* sp. selain kemampuan

dalam melarutkan fosfat namun juga dapat menghasilkan siderofor memainkan peran penting dalam merangsang pertumbuhan tanaman dan mengendalikan beberapa penyakit tanaman (David *et al.*, 2018). Kombinasi PGPR dengan pupuk organik P3 (*A. microphylla*) setara pupuk anorganik tanpa PGPR (P1). Kondisi tersebut memperlihatkan peningkatan serapan P yang cukup signifikan dibandingkan tanpa PGPR yang menunjukkan potensi besar dalam mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik dengan tetap mempertahankan efisiensi penyerapan N tanaman. Peningkatan ini juga dipengaruhi oleh hara tinggi yang dihasilkan *A. microphylla*. Hasil pengujian hara (Tabel 9) menunjukkan *A. microphylla* yang dikombinasikan dengan PGPR dapat menyediakan nutrisi P 100,9 kg/ha lebih tinggi dibandingkan *A. microphylla* tanpa PGPR.

Hasil analisis pada (Tabel 7) menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara aplikasi PGPR dan berbagai jenis pupuk penyedia nitrogen terhadap serapan hara K tanaman padi. Secara umum, perlakuan dengan PGPR 15 ml/l memberikan nilai serapan hara K yang lebih tinggi dibandingkan tanpa PGPR pada sebagian besar jenis pupuk, terutama pada perlakuan PGPR + P0 (urea + NPK dosis penuh) dan PGPR + P3 (*A. microphylla*). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi PGPR mampu meningkatkan ketersediaan dan penyerapan unsur hara kalium oleh tanaman padi. PGPR mengandung bakteri *Azospirillum sp* yang dapat menghasilkan Indole-3-Acid Acid (IAA) memiliki peran dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman meliputi pemanjangan akar primer, pembentukan akar lateral dan akar adventif, serta memacu pertumbuhan jumlah rambut akar (Herlina dkk., 2016). Hal ini memungkinkan akar tanaman padi dapat menjadi lebih luas untuk menyerap hara K dalam tanah.

Perlakuan tanpa PGPR (Tabel 7), nilai serapan K tertinggi diperoleh pada kombinasi P0 (urea + NPK dosis penuh) sebesar 0,10 g/tanaman dan P1 (urea + NPK dosis rendah) sebesar 0,10 g/tanaman. Peningkatan serapan hara K dapat terjadi karena pupuk urea dan NPK sebagai pupuk kimia memiliki kandungan nutrisi yang tersedia secara langsung bagi tanaman (Aliyah dkk., 2022). Perlakuan dengan PGPR 15 ml/l, serapan K tertinggi diperoleh pada kombinasi P0 (urea + NPK dosis penuh) 0,13 g/tanaman dan P3 (*A. microphylla*) 0,10 g/tanaman. Peningkatan serapan hara K oleh tanaman ini menunjukkan peran PGPR dalam ketersediaan hara. PGPR dapat berperan dalam dekomposisi bahan organik, mineralisasi senyawa organik, fiksasi hara,

pelarut hara, nitrifikasi dan denitrifikasi (Supiandi dkk., 2019) yang dapat menyediakan hara bagi tanaman padi. Kombinasi PGPR dengan pupuk organik P3 (*A. microphylla*) setara pupuk anorganik tanpa PGPR. Peningkatan ini dipengaruhi oleh hara tinggi yang dihasilkan *A. microphylla* (Tabel 9), menunjukkan *A. microphylla* yang dikombinasikan dengan PGPR dapat menyediakan nutrisi K 7,71 kg/ha lebih tinggi dibandingkan *A. microphylla* tanpa PGPR.

Kurangnya serapan hara N, P dan K (Tabel 5), (Tabel 6) dan (Tabel 7) pada perlakuan pupuk *S. sesban* dapat diduga tidak efektifnya pertumbuhan *S. sesban* yang ditumpangsaikan pada tanaman padi, sedangkan pada limbah jamur yang diaplikasikan mengandung hara yang cukup rendah yaitu K 0,2%, P 0,7% dan N 0,6% (Astuti dkk., 2021) sehingga kurang efektif. Pada kombinasi *A. microphylla* + *S. sesban* (P5) menunjukkan serapan N, P dan K cukup tinggi, tetapi tetap lebih rendah dibandingkan pupuk anorganik. Namun pada kombinasi PGPR + *A. microphylla* (P3) memberikan responsif dalam meningkatkan serapan N, P dan K setara pupuk anorganik tanpa PGPR (P0). Pengaplikasian PGPR dapat meningkatkan kesuburan fisik maupun kimia tanah serta serapan hara bagi tanaman, seperti dapat memperbaiki ph tanah, C organik, P-total serta N-total tanah (Restiyah dkk., 2023).

Berdasarkan hasil analisis ragam, tidak ditemukan interaksi antara aplikasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan pupuk sebagai sumber nitrogen terhadap kandungan klorofil daun (Tabel 8) pada seluruh umur pengamatan. Namun demikian, perlakuan pupuk penyedia N berpengaruh nyata terhadap kandungan klorofil umur (32, 42, 60, dan 74 HST).

Aplikasi PGPR 15 ml/l tidak menunjukkan pengaruh signifikan (ns) terhadap kandungan klorofil padi (Tabel 8) pada semua umur pengamatan (32, 42, 60, dan 74 HST). Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik, PGPR belum mampu meningkatkan kandungan klorofil secara nyata, meskipun terdapat sedikit peningkatan numerik. Kurangnya pengaruh PGPR pada parameter kandungan klorofil bisa disebabkan oleh faktor lingkungan, nutrisi maupun biologis. Drainase berlebihan dan aerasi terlalu tinggi seperti di lahan yang tadinya basah kemudian dikeringkan total, dapat mengakibatkan hara cepat terurai. Hal ini sering terjadi pada lahan sawah (Utami dkk., 2016). Kondisi ini memungkinkan bakteri PGPR penghasil N yang bekerja pada kondisi

lembab dan membutuhkan udara seperti *Azotobacter* sp. dan *Azospirillum* sp. kurang maksimal sehingga N yang dibutuhkan untuk peningkatan klorofil daun menjadi berkurang.

Tabel 8. Kandungan klorofil daun pada tanaman padi yang diperlakukan dengan PGPR dan berbagai pupuk penyedia N

PGPR	Kandungan Klorofil Daun (Unit) pada Umur (HST)			
	32	42	60	74
Tanpa PGPR	34,63 ns	34,39 ns	31,83 ns	31,54 ns
PGPR 15 ml/l	34,65 ns	34,54 ns	31,99 ns	32,08 ns
KK %	5,07%	4,16%	5,84%	7,07%
Pupuk Penyedia N				
Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha	41,21 c	40,26 d	40,00 c	37,27 b
Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha	39,11 c	36,94 c	33,52 b	31,26 a
Limbah Jamur	31,35 ab	30,69 a	28,35 a	29,49 a
<i>A. microphylla</i>	33,62 b	33,58 b	30,18 a	31,93 a
<i>S. sesban</i>	30,17 a	32,60 ab	29,71 a	30,09 a
<i>S. sesban</i> + <i>A. microphylla</i>	32,38 ab	32,71 ab	29,69 a	30,83 a
KK %	6,46%	5,72%	6,02%	7,08%

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom dan perlakuan yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%. HST= hari setelah tanam, KK= koefisien keragaman, ns= non-significant.

Namun demikian, perlakuan pupuk penyedia N berpengaruh nyata terhadap kandungan klorofil daun (Tabel 8), umur (32, 42, 60, dan 74 HST). Perlakuan Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha memberikan klorofil daun tertinggi secara signifikan pada seluruh umur pengamatan. Sedangkan pada perlakuan Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha menghasilkan klorofil daun lebih rendah dibandingkan dosis penuh, tetapi masih lebih tinggi dibandingkan pupuk organik. Peningkatan klorofil daun dipengaruhi oleh cahaya dan unsur hara yang cukup, pupuk kimia diketahui menyediakan unsur hara dalam bentuk tersedia terutama N yang didapatkan dari pupuk urea. Menurut Ardiansyah dkk. (2022) faktor yang mempengaruhi pembentukan klorofil daun adalah genetik tanaman, cahaya, dan unsur N, Mg, Fe sebagai pembentuk dan katalis dalam sintesis klorofil. Sedangkan pada perlakuan pupuk

organik penyedia N perlakuan *S. sesban* dan limbah jamur menghasilkan tinggi tanaman yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan perlakuan Urea + NPK, namun pada perlakuan *A. microphylla* menunjukkan hasil yang cukup kompetitif dibandingkan pupuk anorganik dosis rendah. Diketahui *A. microphylla* mengandung N, Fe dan Mg yang cukup tinggi untuk meningkatkan kandungan klorofil tanaman padi. Investigasi yang dilakukan Nayak *et al.*, (2004) pemberian *A. microphylla* pada tanaman padi sawah baik yang dikombinasikan maupun yang tidak dikombinasikan dapat memberikan hasil yang nyata pada kandungan klorofil daun tanaman padi. *Azolla* juga diketahui merangsang penyerapan nutrisi dan meningkatkan kapasitas antioksidan sehingga kandungan klorofil daun tanaman dapat meningkat (Chanapanchai *et al.*, 2025).

Tabel 9. Kandungan N, P, K total *A. microphylla* pada tanaman padi (*O. sativa* L) yang diperlakukan dengan berbagai bahan organik

Perlakuan	Kandungan N, P, K Total <i>A. microphylla</i>		
	N total (kg/ha)	P total (kg/ha)	K total (kg/ha)
<i>A. microphylla</i>	67,88	94,31	7,21
<i>S. sesban</i> + <i>A. microphylla</i>	59,77	83,04	6,35
<i>A. microphylla</i> + PGPR	72,59	100,9	7,71
<i>S. sesban</i> + <i>A. microphylla</i> + PGPR	60,53	84,10	6,43

Keterangan: Kandungan hara N, P dan K pupuk organik *A. microphylla* dan *S. sesban* dengan penambahan PGPR ((Plant Growth Promoting Rhizobacteria)

Hasil pengujian kandungan hara pupuk organik *A. microphylla* dengan PGPR pada kandungan N, P, dan K total per ha tersaji pada (Tabel 9). Pengujian kandungan hara total *A. microphylla* dilakukan pada fase vegetatif maksimal padi yaitu umur 60 HST.

Aplikasi PGPR terhadap kandungan hara *A. microphylla* menunjukkan penambahan PGPR pada *A. microphylla* meningkatkan kandungan N, P, dan K total secara keseluruhan. Kombinasi *A. microphylla* + PGPR menghasilkan kandungan hara tertinggi yaitu N total: 72,59 kg/ha, P total: 100,9 kg/ha dan K total: 7,71 kg/ha. Pada kombinasi *S. sesban* + *A. microphylla* (dengan dan tanpa PGPR) menghasilkan kandungan hara lebih rendah dibandingkan *A. microphylla* tunggal. Hal ini diduga karena pada perlakuan *A. microphylla* tunggal biomassa lebih tinggi sehingga mempengaruhi peningkatan hara total. Pupuk hijau *Azolla* dapat membantu penyerapan N untuk kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan sendiri maupun tanaman disekitarnya. *Azolla* sp dapat melipatgandakan beratnya setiap 3-5 hari dan mengikat N₂ di atmosfer dengan kecepatan melebihi kacang-kacangan pada kondisi lahan yang sesuai. Kapasitas pengikatan nitrogen *Azolla* sp diperkirakan sebesar 1,1 kg N per hektar per hari yang cukup untuk memenuhi seluruh kebutuhan N pada padi (Marzouk *et al.*, 2023). Hasil pengujian hara total menunjukkan penambahan PGPR meningkatkan efektivitas pelepasan unsur hara dari bahan organik. Hal ini diduga aktivitas bakteri PGPR membantu menyediakan hara terutama unsur P, *A. microphylla* diketahui membutuhkan unsur P untuk dapat berkembang dengan baik pada awal tumbuh. Peningkatan kandungan P dan N paling terlihat signifikan setelah pemberian PGPR, khususnya pada *A. microphylla*. Peningkatan hara pada *A. microphylla* dipengaruhi oleh PGPR yang diketahui mampu menyediakan unsur hara seperti N dari proses fiksasi *Azotobacter* sp dan *Azospirillum* dan pelarut fosfat bakteri *Pseudomonas fluorescens* (Tyasmoro, 2023). Sehingga memungkinkan hara total *A. microphylla* meningkat dan mampu menyediakan hara pada tanaman disekitarnya.

SIMPULAN

Pemberian pupuk organik penyedia N dan PGPR menunjukkan perlakuan pupuk organik dari (*A. microphylla* + PGPR 15 ml/l) memberikan kontribusi nyata dalam pemenuhan kebutuhan hara nitrogen pada parameter serapan hara (N, P dan K)

dengan memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan pupuk kimia dosis penuh (Urea 500 kg/ha + NPK 500 kg/ha) dan pupuk kimia dosis rendah (Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha).

Pemberian pupuk organik dari (*A. microphylla* + PGPR) memberikan pengaruh terbaik dilihat dari data pertumbuhan meliputi tinggi tanaman umur 74 HST, jumlah daun dan jumlah anakan umur 42 HST. Pemberian (*A. microphylla* + PGPR) memberikan pengaruh terbaik pada parameter panen meliputi jumlah gabah isi, bobot gabah per malai, bobot gabah per tanaman dan produktivitas ton/ha dengan memberikan hasil panen 6,76 ton/ha dan tidak berbeda nyata dengan pupuk kimia dosis rendah (Urea 275 kg/ha + NPK 250 kg/ha).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini, khususnya kepada Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya yang telah membantu pendanaan melalui skema Hibah Penelitian (PNBP) tahun 2024, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Aasfar, A, A Bargaz, K Yaakoubi, A Hilali, I Bennis, Y Zeroual, and I Meftah Kadmiri. 2021. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*. 12: 1-19.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>

Aliyah, T, MR Suhartanto, M Surahman, and A Setiawan. 2022. The effect of delaying fertilization time on production and quality of rice seeds (*Oryza sativa* L.) IPB 3S variety. *Buletin Agrohorti*. 10: 468-476. DOI: 10.29244/agrob.v10i3.46450

Ambarita, Y, D Hariyono, and N Aini. 2017. Aplikasi pupuk NPK dan Urea pada padi (*Oryza sativa* L.) sistem ratun. *Jurnal Produksi Tanaman*. 5: 1228-1234

Ardiansyah, M, B Nugroho, and K Sa'diyah. 2022. Estimasi kadar klorofil dan kadar N daun jagung menggunakan chlorophyll content index. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 24(2): 53-61. DOI: 10.29244/jitl.24.2.53-61

Astuti, DP, A Haq, T Wiyani, YA Putri, A Rofida, and NH Sadiyah. 2021. Pengolahan pupuk organik

limbah jamur untuk pemberdayaan Karang Taruna Dukuh Mutenan munuju organisasi terampil dan mandiri. Proceedings National: 99–103.

BPS. 2023. Badan Pusat Statistik. Luas panen dan produksi padi di Indonesia 2023 (angka sementara), <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2023/10/16/2037/luas-panen-dan-produksi-padi-di-indonesia-2023--angka-sementara-.html>

BPS. 2024. Badan Pusat Statistik. Jumlah penduduk pertengahan tahun (ribu jiwa), 2022–2024, <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk3NSMy/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun--ribu-jiwa-.html>

Candra, A, dan Subagiono. 2020. Pengaruh konsentrasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) terhadap pertumbuhan bibit kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) di polybag. Jurnal Sains Agro. 5: 2580–0744. DOI: <https://doi.org/10.36355/jsa.v5i1.313>

Cassán, F, and M Diaz-Zorita. 2016. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. Soil Biology and Biochemistry. 103: 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>

Chaerunnisa, SS, A Suryanto, dan Y Sugito. 2018. Pengaruh PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan dosis pupuk urea pada tanaman kailan (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*). Jurnal Produksi Tanaman. 6: 1952–1959

Chanapanchai, S, W Fitriya, I Bagus, M Artadana, and K Supaibulwatana. 2025. Important role and benefits of *Azolla* plant in the management of agroecosystem services, biodiversity, and sustainable rice production in Southeast Asia. Journal of Integrative Agriculture. 24(8): 3004–3023. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2025.02.027>

David, B V, G Chandrasehar, and PN Selvam. 2018. *Pseudomonas fluorescens*: A Plant-Growth-Promoting Rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. Pages 221–243 Crop Improvement Through Microbial Biotechnology

Dharma, US. 2013. Pemanfaatan biomassa limbah jamur tiram sebagai bahan bakar alternatif untuk proses sterilisasi jamur tiram. Turbo. 2: 17–22

Esmailpour, A, M Hassanzadehdelouei, and A Madani. 2013. Impact of livestock manure, nitrogen and biofertilizer (Azotobacter) on yield and yield components wheat (*Triticum aestivum* L.). Cercetari Agronomice in Moldova. XLVI(2): 154. DOI: 10.2478/v10298-012-0079-5

Fidiansyah, A, S Yahya, dan Suwarto. 2021. Produksi dan kualitas umbi serta ketahanan terhadap hama pada bawang merah. Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy). 49(1): 53–59. <https://doi.org/10.24831/jai.v49i1.33761>

Fikriawan, AA, S Saida, A Haris, dan A Tjoneng. 2024. Analisis status hara nitrogen untuk tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.) di Kecamatan Mare Kabupaten Bone. Agrotekmas Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian. 5: 76–80. DOI: <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v5i1.499>.

Gade, RM, and MD Koche. 2022. Enhancing the growth and disease suppression ability of *Pseudomonas fluorescens*. Pages 351–368 New And Future Developments In Microbial Biotechnology And Bioengineering: Sustainable Agriculture: Advances In Microbe-Based Biostimulants

Ghai, SK, B Lalita, and DLN Rao. 1993. Tree Type *Sesbania* Germplasm of CSSRI: Some Observations at Early Growth Stage in an Alkali Soil. Central Soil Research Institute, Kamal. India. p.: 25–27

Herlina, L, K Kedati Pukan, dan D Mustikaningtyas. 2016. Kajian bakteri endofit penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) untuk pertumbuhan tanaman. Sainteknol: Jurnal Sains dan Teknologi. 14: 51–58

Jambak, MKFA, DPT Baskoro, and ED Wahjunie. 2017. Characteristics of soil physic on soil conservation tillage system (Case Study of Cikabayan Research Farm, Bogor). Soil and Land Bulletin. 1: 44–50

Karachi, M, and Z Matata. 2000. Forage and seed yields, mortality and nutritive value of *Sesbania sesban* under unimodal rainfall in Tanzania. Journal of Tropical Forest Science. 12: 238–246

Kuntyastuti, H, dan SAD Lestari. 2016. Pengaruh interaksi antara dosis pupuk dan populasi tanaman terhadap pertumbuhan dan hasil kacang hijau pada lahan kering beriklim kering. Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan. 35: 239–250. <https://doi.org/10.18343/jipi.23.1.21>

Marzouk, SH, HJ Tindwa, NA Amuri, and JM Semoka. 2023. An overview of underutilized benefits derived from azolla as a promising biofertilizer in lowland rice production. *Helijon*. 9: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2023.e13040>

Mu, X, and Y Chen. 2021. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*. 158: 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>

Moe, K, SM Moh, AZ Htwe, Y Kajihara, and T Yamakawa. 2019. Effects of integrated organic and inorganic fertilizers on yield and growth parameters of rice varieties. *Rice Science*. 26: 309-318. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2019.08.005>

Naher, UA, ATMA Choudhury, JC Biswas, QA Panhwar, and IR Kennedy. 2020. Prospects of using leguminous green manuring crop *Sesbania rostrata* for supplementing fertilizer nitrogen in rice production and control of environmental pollution. *Journal of Plant Nutrition*. 43: 285-296. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1672734>

Nayak, S, R Prasanna, A Pabby, TK Dominic, and PK Singh. 2004. Effect of urea, blue green algae and *Azolla* on nitrogen fixation and chlorophyll accumulation in soil under rice. *Biology and Fertility of Soils*. 40: 67-72. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0738-2>

Nyein, N, and CB Iwai. 2025. Using *Azolla microphylla* in investigating different agro-wastewaters treatment and its biomass growth for carbon sequestration. *Results in Engineering*. 25: 103865. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103865>

Permatasari, TA, dan T Sumarni. 2022. Pengaruh pupuk kandang dan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) pada pertumbuhan dan hasil tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Produksi Tanaman*. 10: 350-356

Prasojo, BA, dan SY Tyasmoro. 2022. Aplikasi pupuk hijau *Azolla* terhadap efisiensi pupuk anorganik pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.). *PLANTROPICA: Journal of Agricultural Science*. 7: 44-51. DOI: 10.21776/ub.jpt.2022.007.2.6

Rahman, A, R Ahammed, J Roy, L Mia, M Abdul, MA Khan, H Rashid, UK Sarker, MR Uddin, & MS Islam, 2025. Investigating the impact of oligo-chitosan on the growth dynamics and yield traits of *Oryza sativa* L. 'BRRI dhan29' under subtropical conditions. *Helijon*, 11: e41552. Elsevier Ltd. doi.org/10.1016/j.helijon.2024.e41552

Putri, KA, J Jumar, dan RA Saputra. 2022. Evaluasi kualitas kompos limbah baglog jamur tiram berbasis Standar Nasional Indonesia dan uji perkecambahan benih pada tanah sulfat masam. *Agrotechnology Research Journal*. 6(1): 8-15. DOI:10.20961/agrotechresj.v6i1.51272

Rashid, HM, IA Abed, and MN Owaid. 2018. Mycelia growth performance of *Agaricus bisporus* in culture media of composts supplemented with *Sesbania sesban* straw and phosphate rock. *Current Research in Environmental and Applied Mycology*. 8: 323-330. DOI: 10.5943/cream/8/3/4

Razavipour, T, SS Moghaddam, S Doaei, SA Noorhosseini, and CA Damalas. 2018. Azolla (*Azolla filiculoides*) compost improves grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 209: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.020>

Roswy, ZB, dan S Sudiarso. 2022. Pengaruh dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill). *Produksi Tanaman*. 10(1): 60-68. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.protan.2022.010.01.08>

Sari, SL, MR Djuwansah, B Joy, ET Sofyan, M Arifin, T Nurmala, & AN Istyami, 2024. Study of the nutrient uptake patterns for the better use of controlled Release compound fertilizer in rice plant. *International Journal Of Agriculture & Biology*, 31: 295-304. DOI: 10.17957/IJAB/15.2146

Sudjana, HB. 2013. Pertanian berkelanjutan berbasis kesehatan tanah dalam mendukung ketahanan pangan. *Jurnal Unsika*. 11: 1-16

Surdina, E, SA El-Rahimi, dan I Hasri, 2016. Pertumbuhan *Azolla microphylla* dengan kombinasi pupuk kotoran ternak. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*. 1: 298-306

Tawakal, MB, SY Tyasmoro, and KP Wicaksono. 2025. Effect of organic fertilizers and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrient residue and growth of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*

(IJEAB), 10: 74–79. DOI: 10.22161/ijeab
Effect.

Tyasmoro, SY. 2023. Pertanian Organik: Penerapan
Pupuk Organik Menuju Pertanian
Berkelanjutan Pertama. UB Press, Malang

Tyasmoro, SY, dan A Saitama. 2023. Analysis plant
growth, yield and efficiency of nitrogen
fertilization in paddy using green manure of
Azolla. OnLine Journal of Biological Sciences.
23(1): 94–102. DOI:
10.3844/ojbsci.2023.94.102

Utami, SNH, A Priyatmojo, dan Subejo. 2016.
Penerapan teknologi tepat guna padi sawah
spesifik lokasi di dusun ponggok, trimulyo,
jetis, bantul. Indonesian Journal of
Community Engagement. 1: 239–253. DOI:
10.22146/jpkm.10610

Vishwakarma, M, PS Kulhare, & GS Tagore. 2023.
Estimation of chlorophyll using SPAD meter.
International Journal of Environment and
Climate Change, 13: 1901–1912. DOI:
10.9734/IJECC/2023/v13i113348

Yu, T, L Cheng, Q Liu, S Wang, Y Zhou, H Zhong, M
Tang, H Nian, and T Liana. 2022. Effects of
waterlogging on soybean rhizosphere bacterial
community using V4, LoopSeq, and Pacbio 16S
rRNA sequence. Microbiology Spectrum. 10:
e02011-21. DOI: 10.1128/spectrum.02011-21

Zhao, C, J Chen, F Cao, W Wang, H Zheng, & M
Huang, 2025. Exploring key yield components
influencing grain yield in ultrashort- and
short-duration rice cultivars. Agronomy, 15:
1–11. DOI:
doi.org/10.3390/agronomy15051056

Zhou, W, F Yan, Y Chen, and W Ren. 2022.
Optimized nitrogen application increases rice
yield by improving the quality of tillers. Plant
Production Science. 25(3): 311-319.
<https://doi.org/10.1080/1343943X.2022.2061538>