

## ***Azolla* sp. SEBAGAI TEKNOLOGI ALTERNATIF PENYEDIA UNSUR NITROGEN (N) PADA TANAMAN PADI (*Oryza sativa*)**

### ***Azolla* sp. AS AN ALTERNATIVE TECHNOLOGY TO PROVIDE NITROGEN (N) IN RICE (*Oryza sativa*)**

Theresia Avila Daina<sup>1</sup>, Thevano Albintang<sup>2</sup>, Marianus Agung<sup>3</sup>, Genoveva Sedha<sup>4</sup>, Verena K.

Muliyati<sup>5</sup>, Onesimus Ke Lele<sup>6</sup>, Fany Juliarti Panjaitan<sup>7\*</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Mahasiwa Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Katolik Indonesia Santu Paulus Ruteng

<sup>6</sup>Dosen Program Studi Budidaya Pertanian Lahan Kering Universitas Pertahanan Republik Indonesia

<sup>7</sup>Dosen Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Katolik Indonesia Santu Paulus Ruteng

\*Korespondensi : [fanyjait@gmail.com](mailto:fanyjait@gmail.com)

### **ABSTRAK**

*Azolla* sp. memiliki kemampuan simbiosis mutualisme dengan bakteri penambat nitrogen bebas dari udara sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk menghemat penggunaan pupuk urea. Artikel ini ditulis dengan tujuan untuk mengetahui manfaat *Azolla* sp. bagi pertumbuhan dan hasil tanaman padi yang diperoleh dari berbagai sumber literature (studi pustaka). Berdasarkan penelusuran pustaka diketahui bahwa penggunaan *Azolla* sp. sebagai pupuk organik dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman padi, bobot kering dan meningkatkan produktivitas padi secara signifikan.

Kata Kunci: *Azolla* sp, Nitrogen, Padi

### **ABSTRACT**

*Azolla* sp. has the ability of mutualism symbiosis with nitrogen-fixing bacteria free from the air so that it can be used as organic fertilizer to save on the use of urea fertilizer. This article was written with the aim of knowing the benefits of *Azolla* sp. for the growth and yield of rice plants obtained from various literature sources (library studies). Based on the literature search, it is known that the use of *Azolla* sp. as organic fertilizer can increase the growth of rice plant height, dry weight and increase rice productivity significantly.

Keyword: *Azolla* sp, Nitrogen, Paddy

### **PENDAHULUAN**

Padi (*Oryza sativa*) merupakan tanaman pangan utama yang perlu mendapat perhatian khusus karena kemanfaatannya sulit digantikan. Faktor penting lainnya adalah karena padi merupakan salah satu komoditi yang termasuk dalam indikator ketahanan pangan nasional ketika dikonversi menjadi beras. Kebutuhan masyarakat terhadap beras meningkat setiap tahun seiring dengan pertambahan populasi penduduk Indonesia. Populasi penduduk Indonesia pada akhir 2021 mencapai 273,8 juta jiwa dan akan terus meningkat setiap tahunnya (Kemendagri, 2022). Badan Pusat Statistik (2022) melaporkan bahwa produksi

padi nasional pada 2021 sebanyak 54,42 juta ton GKG, menurun sebesar 233,91 ribu ton (0,43%) dibandingkan produksi padi pada 2020 (54,65 juta ton GKG). Apabila dikonversi menjadi beras untuk konsumsi masyarakat mencapai 31,3 juta ton, angka tersebut menurun sebesar 140,73 ribu ton (0,45%) dibanding produksi padi nasional tahun sebelumnya sebesar 31,50 juta ton. Jika produksi padi terus mengalami penurunan, maka tidak dapat mencukupi kebutuhan pangan 273,8 juta masyarakat Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya untuk meningkatkan produksi padi agar tidak menyebabkan kelaparan di sebagian wilayah Indonesia. Intensifikasi pertanian merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan produksi padi dengan memperbaiki lahan pertanian yang ada.

Pemupukan adalah bagian dari intensifikasi pertanian dengan menambahkan unsur hara ke dalam tanah agar pertumbuhan dan produksi tanaman optimal. Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Fungsi utama unsur N adalah menstimulasi pertumbuhan vegetatif tanaman dan memberikan warna hijau pada daun tanaman (Nugroho, 2015). Petani umumnya mengaplikasikan pupuk N-anorganik untuk menyuplai N bagi tanaman padi. Penggunaan pupuk N-anorganik tanpa terkontrol baik dosis, cara maupun waktu aplikasinya dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan tanah dalam jangka panjang. Teknologi penggunaan *Azolla* sp. pada sistem budidaya padi merupakan upaya yang ramah lingkungan untuk meningkatkan ketersediaan hara N dan sebagai sumber bahan organik pada pertanaman padi (Pamuji, 2018; Rosiana et al., 2013).

*Azolla* sp. merupakan tumbuhan paku air yang dapat dijadikan sebagai sumber N alternatif untuk tanaman padi sehingga dapat menghemat penggunaan pupuk kimia. Penyediaan N untuk tanaman padi karena adanya simbiosis antara *Azolla* sp. dengan sianobakteria (*Anabaena azollae*), dimana Sianobakteria berperan dalam memfiksasi N<sub>2</sub> dari udara bebas dan mengkonversinya menjadi bentuk N yang dapat diserap oleh tanaman. Kemampuan simbiosis Sianobakteria dalam memfiksasi N<sub>2</sub> atmosfer bervariasi antara 30 - 60 kg N/ha (Adhikari et al., 2020). Hasil penelitian Roy et al. (2016) menyatakan bahwa *Azolla* sp. pada pertanaman padi dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber tambahan pupuk N yang ramah lingkungan. Pertumbuhan tanaman padi akan meningkat sekitar 12-14% tanpa adanya pupuk N, namun perlu dikombinasikan dengan pupuk P dan K agar kebutuhan hara tanaman terpenuhi. Jumadhi et al. (2014) menambahkan bahwa aplikasi *Azolla* sp. dalam bentuk kompos bermanfaat sebagai substitusi pupuk urea karena kompos *Azolla* mengandung C-organik sebesar 27,7% dan N

total sekitar 2,7%. Kompos *Azolla* juga berperan dalam meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah (Aryanti et al., 2016). Tulisan ini bertujuan untuk menguraikan potensi *Azolla* sp. dalam menyediakan unsur N bagi tanaman padi (*Oryza sativa*).

## METODE PELAKSANAAN

Penyusunan artikel ilmiah ini dilakukan dengan menggunakan metode studi pustaka (literatur), dimana penulis menetapkan judul artikel terlebih dahulu kemudian mencari beberapa referensi berupa artikel ilmiah, buku ataupun referensi lainnya yang relevan dengan judul artikel, yaitu *Azolla* sp. sebagai teknologi alternatif penyedia unsur Nitrogen (N) pada tanaman padi (*Oryza sativa*). Selanjutnya, penulis mengulas referensi-referensi tersebut dan disusun kembali menjadi sebuah artikel baru menggunakan gagasan atau pendapat sendiri.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Gambaran umum *Azolla* sp.

Secara etimologis, *Azolla* berasal dari dua suku kata bahasa Yunani yakni *azo* dan *olloyo* yang berarti mengering dan mati. Nama tersebut merupakan karakteristik atau syarat tumbuh dari tanaman *Azolla* sendiri. Pada kondisi lingkungan kering/tanpa air, *azolla* tidak dapat berkembang. *Azolla* dikenal sebagai tumbuhan air sehingga pada lahan pertanian banyak dijumpai pada daerah yang tergenang seperti sawah. Penyebarannya cenderung tinggi pada daerah dengan kisaran suhu 20<sup>0</sup>-25<sup>0</sup>C. Suhu ideal untuk fiksasi nitrogen berlangsung optimal pada kisaran 20-35<sup>0</sup>C.

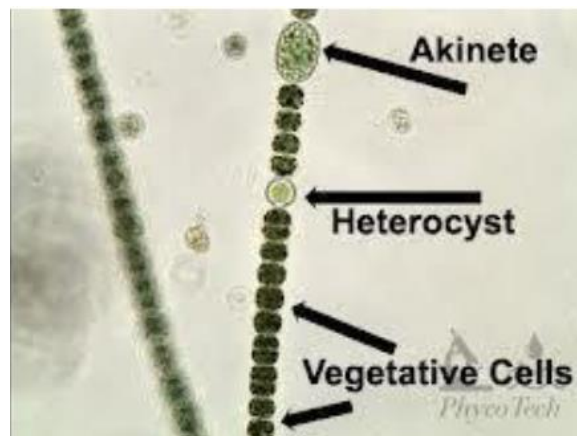
*Azolla* dikenal sebagai paku air atau alga hijau biru yang bersimbiosis mutualisme dengan sianobakteria dan disebut sebagai *Annabaena azollae*. *Annabaena azollae* merupakan salah satu bakteri penambat nitrogen dari udara bebas. Simbiosis yang dibangun yakni bakteri ini menjadikannya sebagai inang dan *Azolla* sendiri mendapatkan suplai N untuk pertumbuhannya. Akibat adanya simbiosis tersebut membuat tanaman *Azolla* dikenal potensial untuk diproduksi sebagai bahan baku pupuk organik (Sudjana, 2014).

*Azolla pinnata* merupakan tumbuhan dengan ukuran yang relative kecil, memiliki panjang 1,5–2,5 cm. Tipe akar yang dimiliki yaitu akar lateral dimana bentuk akar adalah runcing atau tajam terlihat seperti rambut atau bulu di atas air. Bentuk daun kecil dengan ukuran panjang sekitar 1–2 mm dengan posisi daun yang saling menindih. Permukaan atas

daun berwarna hijau, coklat atau kemerah-merahan dan permukaan bawah berwarna coklat transparan. Daun sering menampilkan warna merah marun dan air tampak tertutup olehnya. Ketika tumbuh di bawah sinar matahari penuh, terutama di akhir musim panas dan musim semi, *Azolla* dapat memproduksi antosianin kemerah-merahan di dalam daunnya (Dewi et al., 2021).

### **Mekanisme dan peran *Azolla* sp. melalui simbiosisnya dengan *Cyanobacteria***

Prinsip penambatan Nitrogen bebas oleh bakteri tersebut untuk tanaman padi berbeda dengan rhizobium pada tanaman kacang-kacangan. Pemanfaatan Nitrogen oleh tanaman padi terjadi tanpa melalui adanya interaksi dengan *Azolla*. Interaksi yang terjadi adalah antara *Anabaena* dengan *Azolla*. *Cyanobacteria* masuk ke dalam jaringan sel *Azolla* melalui titik tumbuh dan kemudian melakukan fiksasi N. Fiksasi N berlangsung dalam sel heterocysts. Sel tersebut akan berkembang apabila *Anabaena* mengkolonisasi dan mendiami intraseluler *azolla* (Dewi, et al., 2021). Beberapa bagian *Cyanobacteria* memiliki peran dan fungsinya masing-masing.

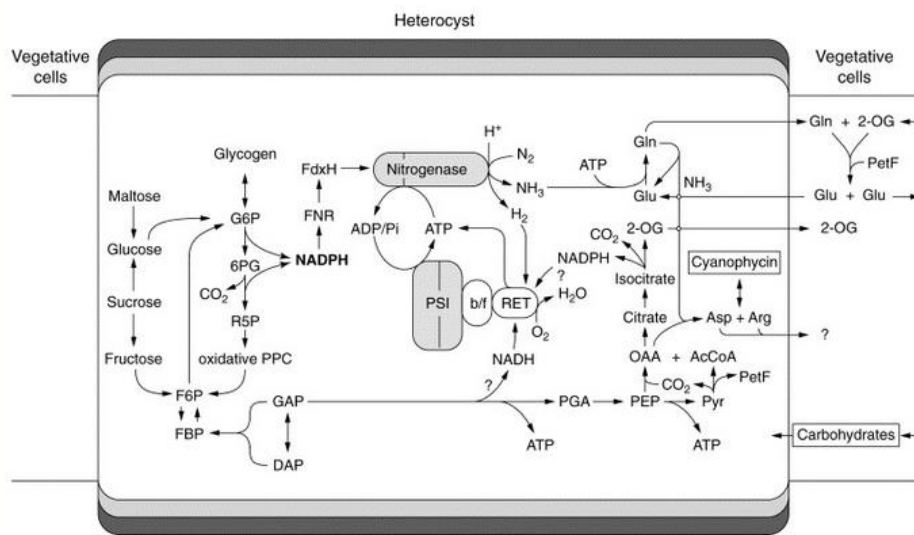


**Gambar 1.** Struktur *Cyanobacteria* dalam pengamatan mikroskop (Sudjana, 2014)

Sel heterocyst merupakan sel berdinding tebal dan terlihat bening. Sel ini diketahui terdapat enzim nitrogenase yang berfungsi memfiksasi nitrogen bebas dari atmosfer ( $N_2$ ) dan mengkonversinya menjadi ammonia ( $NH_3$ ). Proses penting ini mendekati proses nitrifikasi (pembentukan amonia dari pemecahan protein) menjadikan N-tersedia dan bermanfaat untuk tanaman. Nitrogen yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan oleh *azolla* untuk tumbuh dan berkembang. Sel akinete berukuran lebih besar dari sel lainnya, berdinding tebal, mengandung endospora dan berfungsi menyimpan cadangan makanan bagi *cyanobacteria*. Sel ini merupakan pertahanan diri disaat *anabaena* dalam kondisi

lingkungan suboptimal untuk berkembang. Sementara sel-sel vegetatif yang juga disebut baesit, merupakan sel hasil reproduksinya yang berbentuk bulat kecil, dan berklorofil .

Tahap pertama dalam proses fiksasi  $N_2$  dari udara bebas adalah dengan pengambilan oksigen yang terdapat disekitar Azolla melalui heterocysts. Berbeda dengan sel vegetatif, heterocysts aktif tertutup oleh lapisan polisakarida yang dapat menyediakan nutrisi bagi Anabaena. Aktivitas metabolisme Anabaena yaitu mengkonsumsi oksigen yang berada di heterocysts, hingga taraf terendah oksigen disekitar heterocysts. Kompleksitas aktifitas nitrogenase di dalam cyanobacteria telah disampaikan secara jelas oleh (Böhme, 1998) melalui Gambar 2 berikut.



Gambar. 3. Aktifitas nitrogenase mereduksi nitrogen menjadi ammonia (Böhme, 1998).

Pada gambar tersebut terlihat sangat kompleks aktifitas enzim nitrogenase mereduksi Nitrogen menjadi Amonia. Secara sederhana dapat dijelaskan bahwa enzim nitrogenase yang tersusun atas protein Fe dimer (dinitrogenase reduktase) berfungsi sebagai agen pembawa elektron menuju protein MoFe tetramer (dinitrogenase). Selanjutnya MoFe tetramer mereduksi molekul Nitrogen ( $N_2$ ) menjadi Ammonia ( $NH_3$ ).

*Heterocyst* memiliki dinding berlapis-lapis tebal yang mencegah masuknya oksigen. *Heterocyst* dengan sel vegetatif terlihat berdekatan. Lapisan luar dan dalam dari selubung *heterocyst* masing-masing terdiri dari polisakarida dan glikolipid. *Heterocysts* mengimpor karbohidrat dari sel vegetatif, kemudian glutamine bergerak ke arah yang berlawanan. Beberapa substrat berikut mendukung aktivitas nitrogenase yaitu glikogen, maltosa, sukrosa (kurang aktif), glukosa dan fruktosa; glukosa 6-fosfat (G6P) dan zat antara lain dari siklus pentosa-fosfat oksidatif (PPC), termasuk dihidroksiaseton fosfat (DAP),

gliseraldehida 3-fosfat (GAP) dan fruktosa-1,6-bifosfat (FBP) sangat aktif. Substrat glikolitik, seperti fosfoenolpiruvat (PEP) dan piruvat (Pyr) tidak aktif atau menghambat reduksi asetilen oleh ekstrak heterokista. Dalam siklus reaksi gelap, reduktor untuk nitrogen dan oksigen dihasilkan oleh aktivitas PPC oksidatif dan mungkin oleh isositrat dehidrogenase. NADPH yang terbentuk menyumbangkan elektron melalui ferredoxin: NADP reductase (FNR) ke ferredoxin (FdxH) spesifik heterocyst dan kemudian ke dua komponen nitrogenase (Fe-protein dan FeMo-protein) seperti yang ditunjukkan. NAD(P)H dan hidrogen juga merupakan donor elektron untuk transpor elektron respirasi (RET) yang menghasilkan ATP yang diperlukan untuk reaksi nitrogenase. Dalam reaksi terang, ATP dibentuk oleh fotofosforilasi siklik yang dimediasi oleh fotosistem I (dimer PSI). Ferredoksin juga dapat difotoreduksi oleh PSI dengan mengorbankan hidrogen dan NAD(P)H sebagai donor elektron (Gambar 2).

Fiksasi nitrogen oleh organisme ini dipicu oleh adanya cahaya. Cyanobacteria memfiksasi nitrogen hanya dalam kondisi defisiensi nitrogen. Aplikasi pada sawah dengan *cyanobacteria* dapat mengurangi kehilangan nitrogen melalui metabolisme. Nitrogen yang dimetabolisme dan nitrogen yang terikat secara biologis menjadi tersedia secara bertahap melalui eksudasi dan dekomposisi oleh *Azolla*. Fiksasi nitrogen oleh *cyanobacteria* tergantung pada berbagai faktor biotik dan abiotik. Aktivitas nitrogenase diketahui sangat sensitif terhadap oksigen dan produksi hidrogen yang dikatalisis oleh nitrogenase/hidrogenase hanya dapat berfungsi dalam kondisi anaerob karena sensitivitasnya yang ekstrim terhadap oksigen (Ahmed et al., 2014).

### ***Azolla* sp. dan tanaman budidaya (Padi)**

Kemampuan memfiksasi  $N_2$  dari udara bebas oleh *Anabaena azollae* yang bersimbiosis dengan *Azolla* sp. mampu menyediakan unsur N bagi tanaman yang penting untuk merangsang pertumbuhan vegetatif tanaman. Pertumbuhan vegetatif yang baik akan menunjang pertumbuhan generatif tanaman padi sawah sehingga komponen hasil dari tanaman padi meningkat (Abd El-Aal, 2022; Adhikari et al., 2020; Thapa & Poudel, 2021).

Banyak penelitian yang telah memanfaatkan *Azolla* sp. ini pada pertanaman padi sawah dan terbukti dapat mengoptimalkan pertumbuhan dan produksi tanaman padi sawah. Selain menyediakan unsur hara khususnya Nitrogen, *Azolla* sp. juga telah dilaporkan berperan penting menekan pertumbuhan gulma, meningkatkan bahan organik tanah, dan meningkatkan efisiensi pupuk anorganik. Selain itu, *Azolla* juga mampu mempertahankan

kondisi pH tanah yang sesuai untuk pertumbuhan padi, sehingga secara umum berkontribusi terhadap peningkatan hasil padi (Abd El-Aal, 2022; Thapa & Poudel, 2021).

Garfansa et al. (2017) melaporkan bahwa pemanfaatan *Azolla* sebagai pupuk hijau pada permukaan lahan sawah dapat mengurangi penggunaan urea sebesar 50 - 100 kg/ha. Hal ini didukung oleh Sisworo et al. (2011) pemanfaatan *Azolla* mampu menghemat sekitar 25-50% penggunaan pupuk N anorganik pada sistem pertanaman padi sawah. Dalam penelitian Sulandjari & Yunindanova (2018) juga melaporkan bahwa perlakuan *Azolla* berpotensi dalam menyuplai lebih dari 50% kebutuhan nitrogen pada tanaman padi sawah. Hasil percobaan Khair et al., (2021) bahwa pemanfaatan *Azolla* sebagai pupuk hayati untuk penanaman padi pada perlakuan pupuk NK dan *Azolla* menunjukkan total produksi tanaman padi sebanding dengan perlakuan pupuk anorganik. Pemanfaatan *Azolla* dapat mengurangi pupuk anorganik, sehingga mampu menekan biaya pembelian pupuk anorganik.

Adanya simbiosis *Azolla* spp. dan sianobakteria (*Anabaena azollae*) yang memiliki kemampuan memfiksasi  $N_2$  dari udara bebas (Sudjana, 2014) dan mengkonversinya dalam bentuk N tersedia mampu menghemat penggunaan pupuk N anorganik. Widiastuti et al. (2018) melaporkan bahwa *cyanobacteria* dalam kondisi tidak bersimbiosis berkontribusi dalam menyumbangkan unsur N sebesar 20-30 kg/ha, sementara bersimbiosis dengan *Azolla* dapat memfiksasi N sebesar 200 kg/ha. Sebagian besar unsur N yang dikembalikan ke lahan sawah akan dimanfaatkan oleh *Azolla* untuk memperbanyak biomasanya. Biomassa *Azolla* mengandung unsur hara N yang tinggi, sehingga apabila biomassa *Azolla* terdekomposisi mampu melepaskan N sekitar 75-80% dari total akumulasi di tanah sawah (Roy et al., 2016).

### **Prospek *Azolla* sp. sebagai Alternatif Substitusi Pupuk N-anorganik**

*Azolla* atau yang dikenal sebagai pakis air terapung telah banyak digunakan sebagai pupuk hijau untuk meningkatkan hasil padi. Masifnya pemanfaatan *Azolla* oleh petani karena kemampuannya secara tidak langsung menambat Nitrogen ( $N_2$ ) bebas dari udara melalui simbiosisnya dengan *Anabaena Azolla*. Manfaat tersebut diketahui membantu mengurangi dosis pupuk anorganik yang direkomendasikan. Kemampuan mengikat nitrogen melalui asosiasi *Anabaena azolae* diketahui bervariasi antara 30 dan 60 kg N ha<sup>-1</sup> yang membuat *Azolla* sebagai sumber nitrogen biologis penting untuk ekosistem padi menggantikan peran pupuk urea (Adhikari et al., 2020).

Penggunaan *Azolla* sebagai pupuk organik menggantikan pupuk NPK juga telah dilaporkan oleh (Garfansa et al., 2017). Aplikasi *azolla* yang dikombinasikan dengan pupuk NPK pada budidaya tanaman *baby corn* mampu memberikan produksi tongkol yang baik. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan *azolla* sebagai pupuk organik dapat menghemat penggunaan pupuk anorganik NPK sebesar 50%. Hasil tersebut diperkuat dengan temuan Bhuvaneshwari & Singh (2015) yang mendapati bahwa *azolla* tidak hanya mampu menyediakan unsur Nitrogen namun juga mampu memperbaiki kualitas fisik tanah dan kimia tanah terutama unsur kalium.

Penggunaan *Azolla* sebagai pupuk organik juga telah dilaporkan mampu memperbaiki pertumbuhan tanaman pangan dan hortikultura lainnya selain padi. *Azolla* dikenal mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai terbaik pada konsentrasi 120 ml L<sup>-1</sup> (Wicaksono, 2019). Peningkatan pertumbuhan vegetative dan generative tanaman kedelai pada penggunaan kompos *azolla* juga kemukakan oleh (Riancono, 2018). *Azolla* yang dikombinasikan dengan pupuk kandang kambing juga memberikan pertumbuhan dan hasil terong terbaik (Pamuji, 2018).

Selain mampu menyumbangkan unsur Nitrogen melalui mekanisme simbiosisnya, *Azolla* dapat secara tidak langsung berperan melalui perbaikan kualitas tanah. Perbaikan kualitas tanah tercemar logam berat melalui kemampuannya secara langsung menyerap logam berat dan secara tidak langsung melalui penambahan bahan organik (Ahmad & Tariq, 2018; Ahmed et al., 2014). Bhuvaneshwari & Singh (2015) juga melaporkan selain memperbaiki kualitas fisik tanah juga menyediakan unsur hara kalium dalam tanah.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil ulasan beberapa artikel ilmiah terkait dengan potensi *Azolla* sp. terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi, dapat disimpulkan bahwa *Azolla* dapat dijadikan sebagai pupuk organik dan pupuk hijau untuk menyediakan hara tambahan nitrogen (N). *Azolla* sp. yang diaplikasikan baik secara individu ataupun dikombinasikan dengan pupuk anorganik dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan komponen hasil tanaman padi. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan *Azolla* sp. mampu menghemat penggunaan pupuk anorganik dan menekan biaya pembelian pupuk anorganik (Bhuvaneshwari & Singh, 2015).

Banyak zat pemacu pertumbuhan seperti asam indol asetat (IAA), asam giberelat (GA), bioaktif seperti asam lemak, polisakarida, senyawa fenolik diekstraksi dari *A. azollae*, dan

dilaporkan memiliki efek mikrobisida in vitro dan in vivo. Selain itu, aktivitas nitrogenase yang tinggi dari *A. azollae* telah diterima sebagai indikator pionir untuk kemampuan biofertilisasinya. Menariknya, aktivitas dehidrogenase yang diinduksi dan ekskresi polisakaridanya dilaporkan meningkatkan kesuburan tanah dengan meningkatkan komunitas mikroba tanah. Dengan demikian, *A. azollae* dapat memberikan banyak manfaat bagi sektor pertanian dan dapat dianggap sebagai bio-inokulan yang menjanjikan dan aman dalam tren pertanian organik saat ini. (Abd El-Aal, 2022)

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Aal, A. A. M. (2022). *Anabaena-azollae*, significance and agriculture application: A case study for symbiotic cyanobacterium. In *Microbial Syntrophy-Mediated Eco-enterprising* (pp. 1–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99900-7.00006-7>
- Adhikari, K., Bhandari, S., & Acharya, S. (2020). an Overview of Azolla in Rice Production: a Review. *Reviews in Food and Agriculture*, 2(1), 04–08. <https://doi.org/10.26480/rfna.01.2021.04.08>
- Ahmad, N., & Tariq, H. (2018). The Effectiveness of Azolla as a Waste Decomposer and Bio-fertilizer. *Crossfer Mini Review Article*, 10(2), 3.
- Ahmed, A., Hemida, M., & Ohyam, T. (2014). Nitrogen Fixing Cyanobacteria: Future Prospect. In *Advances in Biology and Ecology of Nitrogen Fixation*. InTech. <https://doi.org/10.5772/56995>
- ARYANTI, E., NOVLINA, H., & SARAGIH, R. (2016). KANDUNGAN HARA MAKRO TANAH GAMBUT PADA PEMBERIAN KOMPOS *Azolla pinata* DENGAN DOSIS BERBEDA DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN KANGKUNG (*Ipomea reptans* Poir). *Jurnal Agroteknologi*, 6(2), 31. <https://doi.org/10.24014/ja.v6i2.2238>
- Badan Pusat Statistik. (n.d.). Retrieved September 11, 2022, from <https://www.bps.go.id/subject/153/geografi.html#subjekViewTab3>
- Bhuvaneshwari, K., & Singh, P. K. (2015). Response of nitrogen-fixing water fern *Azolla* biofertilization to rice crop. *3 Biotech*, 5(4), 523–529. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0251-8>
- Böhme, H. (1998). Regulation of nitrogen fixation in heterocyst-forming cyanobacteria. In

- Trends in Plant Science* (Vol. 3, Issue 9, pp. 346–351). Elsevier Current Trends.  
[https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(98\)01290-4](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01290-4)
- Dewi, N., A. I. Tanzil, U. Sholikhah, D. C. W. (2021). *PELET FERMENTASI AZOLLA: Budidaya, Proses Pembuatan, Manfaat, dan Prospek Pasar*. UPT Percetakan dan Penerbitan Universitas Jember.  
[https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=6SxfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=manfaat+azolla+sp&ots=xyJgGG6RnW&sig=5nPBofOuCeg\\_sgBegFycJl\\_f3Rc&redir\\_esc=y#v=onepage&q=manfaat azolla sp&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=6SxfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=manfaat+azolla+sp&ots=xyJgGG6RnW&sig=5nPBofOuCeg_sgBegFycJl_f3Rc&redir_esc=y#v=onepage&q=manfaat azolla sp&f=false)
- Garfansa, M. P., Hariyono, D., & Sugito, Y. (2017). *TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN BABY CORN ( Zea mays saccharata ) THE EFFECT OF DOSE NPK ELEMENT OF CHEMICAL FERTILIZER AND AZOLLA ' S COMPOST ON GROWTH AND YIELD OF BABY CORN ( Zea mays saccharata )*. 5(7), 1093–1099.
- MIbM, K., EA, A., R, I., & MNFA, R. (2021). *Biofertilizer: Azolla pinnata in-combination with Inorganic Fertilizer on Growth and Yield of Rice*.  
<https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-871462/V1>
- P, A. E., & Riancono, D. (2018). *Respon Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Kedelai ( Glicine Max ) Pada Perlakuan Pemberian Pupuk Kompos ( Azolla dan Jerami ) dan Penambahan Rhizobium Response Growth And Production Of Soybean*. 6(1), 21–32.  
<https://doi.org/10.21070/nabatia.v6i1.978>
- Pamuji, N. C. S. (2018). *Uji Potensi Konsentrasi Azolla (Azolla microphylla) sebagai Pupuk Organik Cair Berbasis Mol Bonggol Pisang dan Pemberian Dosis Pupuk Kandang Kambing terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Terong (Solanum melongena L.)*.
- Rosiana, Turmuktini, Yuwariah, Simarmata, & Arifin. (2013). Aplikasi Kombinasi Kompos Jerami , Kompos Azolla Dan Pupuk Hayati Untuk Meningkatkan Jumlah Populasi Bakteri Penambat Nitrogen Dan Produktivitas Tanaman Padi Berbasis IPAT-BO. *Agrovigor*, 6(1), 16–22.
- Roy, D. C., Pakhira, M. C., & Bera, S. (2016). A Review on Biology, Cultivation and Utilization of Azolla. *Advances in Life Sciences*, 5(1), 11–15.  
<https://www.researchgate.net/publication/303487247>
- Sapto Nugroho, W. (2015). Penetapan Standar Warna Daun Sebagai Upaya Identifikasi Status Hara (N) Tanaman Jagung (Zea mays L.) pada Tanah Regosol. *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, 3(1), 8–15. <https://doi.org/10.18196/pt.2015.034.8-15>

- Sisworo, E., Rasjid, H., Haryanto, H., & Idawati, I. (2011). The Contribution of Azolla and Urea in Lowland Rice Growth Production for Three Consecutive Seasons. *Atom Indonesia*, 34(1), 21–34. <https://doi.org/10.17146/aij.2008.87>
- Sudjana, B. (2014). Penggunaan azolla untuk pertanian berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Solusi*, 1(2), 72–81. <https://journal.unsika.ac.id/index.php/solusi/article/download/49/49/99>
- Sulandjari, & Yunindanova, M. B. (2018). Application of Azolla and intermittent irrigation to improve the productivity and nutrient contents of local black rice variety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 142(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012032>
- Thapa, P., & Poudel, K. (2021). Azolla: Potential Biofertilizer for Increasing Rice Productivity, and Government Policy for Implementation. *Journal of Wastes and Biomass Management*, 3(2), 62–68. <https://doi.org/10.26480/jwbm.02.2021.62.68>
- Wicaksono, W. . (2019). Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap Pemberian Pupuk P dan Pupuk Organik Cair Azolla. In *Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Jember* (Vol. 1999, Issue December).
- Widiastuti, D. P., Davis, J. G., & Gafur, S. (2018). *Azolla fertilizer as an alternative N source for red spinach production on alluvial and peat soils in West Kalimantan , Indonesia Azolla fertilizer as an alternative N source for red spinach production on alluvial and peat soils in West Kalimantan , Indon. November*, 2–5.