



**PENGARUH SILIKON TERHADAP DINAMIKA MIKROBA TANAH, NITROGEN,
DAN FOSFOR PADA BERBAGAI KONDISI MEDIA TANAM**

***¹Muhammad Iwan Wahyudi, ²Hudaini Hasbi, ³Bagus Tripama, ⁴Saptia Prawitasari, ⁵Oktarina, ⁶Bejo Suroso**

^{1,2,3,4,5,6}Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Jember, Indonesia

*Corresponding author E-mail: iwan.wahyudi@unmuhjember.ac.id

DOI : 10.30605/biogenerasi.v10i3.6829

Accepted : 8 Agustus 2025 Approved : 22 Agustus 2025 Published : 6 September 2025

Abstract

This study aims to analyze the effect of silicon (Si) application on soil microbial populations, particularly bacteria, nitrogen (N) and phosphorus (P) uptake under various soil conditions, and its implications for corn (*Zea mays* L.) growth. The experiment used a completely randomized factorial design with two factors: Si concentration (0, 5, 10, and 15% SiO₂) and type of soil condition (standard soil, high-N soil, P-deficient soil, and high-organic-matter soil). The results showed that Si fertilizer application increased bacterial populations by 18.87% in the control treatment, 134.6% in high-N soil, 134.7% in P-deficient soil, and 20% in high-organic matter soil. The application of 15% Si in P-deficient soil increased P uptake by 53.7% compared to without Si, while in high-N soil, the application of 15% Si reduced tissue N content but increased its utilization efficiency. Leaf Si content was relatively higher in all treated media compared to the control, followed by a tendency toward increased plant dry weight and stomatal number. These results indicate that Si application under nutrient stress conditions can balance N and P availability and improve physiological parameters supporting growth.

Keywords : *bacteria, corn, nitrogen, phosphorus, soil's condition, silicon*

PENDAHULUAN

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan komoditas pangan strategis setelah padi di Indonesia, berperan penting dalam ketahanan pangan, pakan ternak, dan industri berbahan baku jagung. Kebutuhan jagung nasional meningkat setiap tahun, baik untuk konsumsi manusia maupun pakan ternak, di mana sekitar 50% total permintaan digunakan sebagai bahan baku pakan (Jumakir & Endrizal, 2002). Namun, data Badan Pusat Statistik (BPS, 2018) menunjukkan bahwa produksi jagung nasional baru mencapai 19,6 juta ton per tahun pada luas panen 3,8 juta hektar, dengan produktivitas rata-rata 5,1 ton/ha, jauh di bawah potensi genetik tanaman yang dapat mencapai 10–12 ton/ha. Kesenjangan antara produksi dan kebutuhan menyebabkan pemerintah melakukan impor sebesar 3,5 juta ton per tahun, yang menjadi indikasi adanya hambatan serius dalam sistem produksi.

Salah satu penyebab produktivitas jagung yang rendah adalah degradasi kualitas tanah akibat sistem pertanian intensif berbasis *High External Input* (HEI), terutama penggunaan pupuk N, P, dan K sintetis tanpa pengembalian unsur hara lain seperti silikon (Si) yang ikut terangkut saat panen (Meena et al., 2014). Kehilangan Si dari lahan pertanian global diperkirakan mencapai 220–240 juta ton per tahun, dan dalam jangka panjang berpotensi menyebabkan *nutrient imbalance* yang menghambat pertumbuhan tanaman (Ranganathan et al., 2006).

Silikon adalah unsur kedua terbanyak di kerak bumi setelah oksigen, menyusun sekitar 27,7% berat tanah (Chanchal et al., 2016). Meskipun tidak digolongkan sebagai unsur hara esensial, Si dianggap sebagai unsur *beneficial* karena mampu meningkatkan pertumbuhan, hasil, dan ketahanan tanaman terhadap stres biotik dan abiotik (Epstein, 1999; Vashanti, 2012). Tanaman Gramineae seperti padi, tebu, dan jagung menyerap Si dalam jumlah lebih tinggi dibandingkan beberapa unsur makro, dengan kandungan pada jagung mencapai 20,6% dari berat kering tanaman (Roesmarkam & Yuwono, 2002).

Di tanah, Si tersedia dalam bentuk asam monosilikat (H_4SiO_4), hasil pelapukan mineral silikat atau dekomposisi residu tanaman (Djajadi, 2013). Ketersediaannya dipengaruhi oleh pH tanah, kandungan bahan organik,

tekstur, serta aktivitas mikroba tanah (Vashanti, 2012). Setelah diserap akar melalui transporter khusus atau aliran massa air (Bakhat et al., 2018), Si diangkut ke bagian tanaman melalui xilem dan disimpan dalam bentuk *amorphous silica gel* di dinding sel epidermis, membentuk lapisan ganda silika–kutikula yang berfungsi sebagai pelindung mekanis dan mengurangi kehilangan air melalui transpirasi (Marschner, 2011).

Peran Si terhadap nutrisi tanaman tidak hanya bersifat struktural, tetapi juga fisiologis. Pada unsur nitrogen, Si dilaporkan meningkatkan efisiensi penggunaannya dengan mengatur pembagian N antara pertumbuhan vegetatif dan reproduktif (Pulung, 2007). Pada kondisi kelebihan N, Si dapat menurunkan akumulasi N di jaringan daun, mengurangi risiko *luxury consumption*, dan mengarahkan pemanfaatan N secara optimal untuk sintesis protein dan klorofil (Mitani & Ma, 2005).

Sementara itu, pengaruh Si terhadap P berkaitan dengan mekanisme kompetisi ion pada tapak jerapan. Ion silikat (SiO_4^{4-}) memiliki elektronegativitas lebih besar dibandingkan fosfat (PO_4^{3-}), sehingga mampu menggantikan P yang terikat pada Fe, Al, atau Ca di tanah, melepaskannya menjadi bentuk tersedia bagi tanaman (Matichenkov & Calvert, 2002). Selain itu, Si dapat mengikat P dalam kompleks *slow release* sehingga mengurangi pelindian hingga 40–90%, dan meningkatkan efisiensi pemupukan P. Efek ini sangat penting pada lahan masam dengan kandungan Al tinggi yang umumnya mengikat P dalam bentuk yang tidak larut.

Ketersediaan N dan P di tanah tidak hanya ditentukan oleh pemupukan, tetapi juga oleh aktivitas mikroba. Bakteri penambat N bebas (*Azotobacter*, *Azospirillum*) dan bersimbiosis (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*) berperan mengubah N_2 atmosfer menjadi NH_4^+ yang dapat dimanfaatkan tanaman (Zahran, 2001). Kelompok bakteri pelarut fosfat seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas* melepaskan P dari senyawa organik maupun anorganik melalui sekresi asam organik (Rodríguez & Fraga, 1999).

Hubungan mikroba dengan Si belum banyak dibahas, namun beberapa studi menunjukkan bahwa bakteri pelarut silikat (*Bacillus mucilaginosus*, *Enterobacter cloacae*) dapat meningkatkan ketersediaan Si

terlarut melalui pelapukan mineral silikat (Vasanthi et al., 2014). Populasi mikroba ini umumnya meningkat pada tanah dengan kandungan bahan organik tinggi, pH netral hingga agak masam, dan ketersediaan sumber energi yang cukup.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa aplikasi Si dapat mempengaruhi populasi mikroba tanah secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, Si dapat berfungsi sebagai amelioran yang memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih mendukung pertumbuhan mikroba (Meena et al., 2014). Secara tidak langsung, Si meningkatkan kesehatan tanaman melalui penguatan dinding sel dan pengurangan kehilangan air, yang pada gilirannya meningkatkan eksudat akar—sumber karbon penting bagi mikroba (Guntzer et al., 2012). Peningkatan populasi mikroba ini berpotensi mempercepat fiksasi N dan pelarutan P, sehingga mempengaruhi status hara tanaman.

Walaupun peran Si terhadap pertumbuhan tanaman telah banyak dikaji, penelitian yang mengintegrasikan hubungan Si, populasi mikroba, dan keseimbangan hara N–P pada berbagai kondisi media tanam masih terbatas. Sebagian besar studi fokus pada pengaruh Si terhadap fisiologi tanaman atau ketersediaan hara secara kimiawi, tanpa mengkaji dinamika biologis tanah yang terlibat. Padahal, dalam ekosistem tanah, faktor kimia, fisik, dan biologi saling mempengaruhi.

Selain itu, respon tanaman terhadap Si dapat berbeda tergantung kondisi media tanam, seperti tanah dengan kelebihan N, kahat P, atau kandungan bahan organik tinggi. Kondisi ini merepresentasikan berbagai tipe lahan pertanian di Indonesia, sehingga pemahaman tentang interaksi Si dengan faktor-faktor tersebut menjadi penting untuk merancang strategi pemupukan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui hubungan antara aplikasi Si dengan perubahan populasi mikroba tanah, khususnya bakteri penambat N, menganalisis pengaruh aplikasi Si terhadap serapan N dan P pada tanaman jagung di berbagai kondisi media tanam, dan menjelaskan implikasi perubahan serapan hara dan populasi mikroba terhadap parameter

fisiologis dan pertumbuhan tanaman jagung. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan teknologi pemupukan Si yang mempertimbangkan faktor biologi tanah, sehingga mendukung produktivitas jagung secara berkelanjutan.

METODE

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jember pada tahun 2021. Analisis tanah dan jaringan tanaman dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Jember. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah konsentrasi silikon (Si) yang diberikan dalam bentuk SiO_2 murni dengan empat taraf: S0 (0%), S1 (5%), S2 (10%), dan S3 (15%). Faktor kedua adalah jenis media tanam: M1: tanah standar (pupuk NPK sesuai rekomendasi), M2: tanah tinggi N ($3\times$ dosis N), M3: tanah kahat P (pengapuran 6,6 ton/ha), M4: tanah tinggi bahan organik (bokashi 33 ton/ha). Unit percobaan berupa *polybag* berisi media tanam 15 kg, ditanami jagung varietas unggul dengan jarak tanam sesuai rekomendasi. Pupuk dasar N, P, K diberikan sesuai rekomendasi kecuali pada perlakuan tinggi N dan kahat P. Silikon diaplikasikan sesuai dosis perlakuan dalam bentuk larutan yang dikocorkan ke media tanam pada awal pertumbuhan. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman, penyiangan, dan pengendalian hama penyakit sesuai kebutuhan.

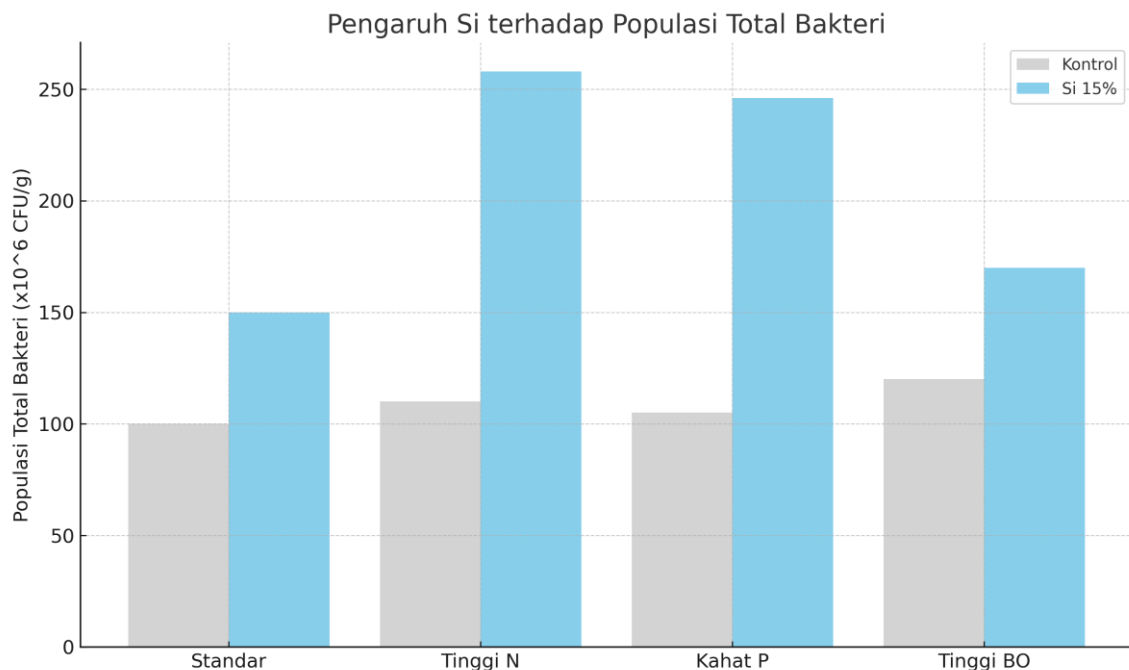
Variabel pengamatan meliputi Populasi mikroba tanah: total bakteri (TPC) dan bakteri penambat N (*Rhizobium*), dihitung menggunakan metode pengenceran bertingkat. Serapan hara N dan P: diukur pada puncak vegetatif (45 HST) melalui analisis jaringan daun menggunakan metode Kjeldahl (N) dan spektrofotometri (P). Kandungan Si daun: diukur dengan metode kolorimetri setelah ekstraksi basah. Parameter pertumbuhan dan Fisiologi: berat kering tanaman, jumlah dan kerapatan stomata. pH tanah: diukur sebelum dan sesudah perlakuan. Data dianalisis menggunakan ANOVA, dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5% jika terdapat perbedaan nyata. Korelasi antar variabel dihitung untuk

mengetahui hubungan Si dengan N, P, dan populasi mikroba.

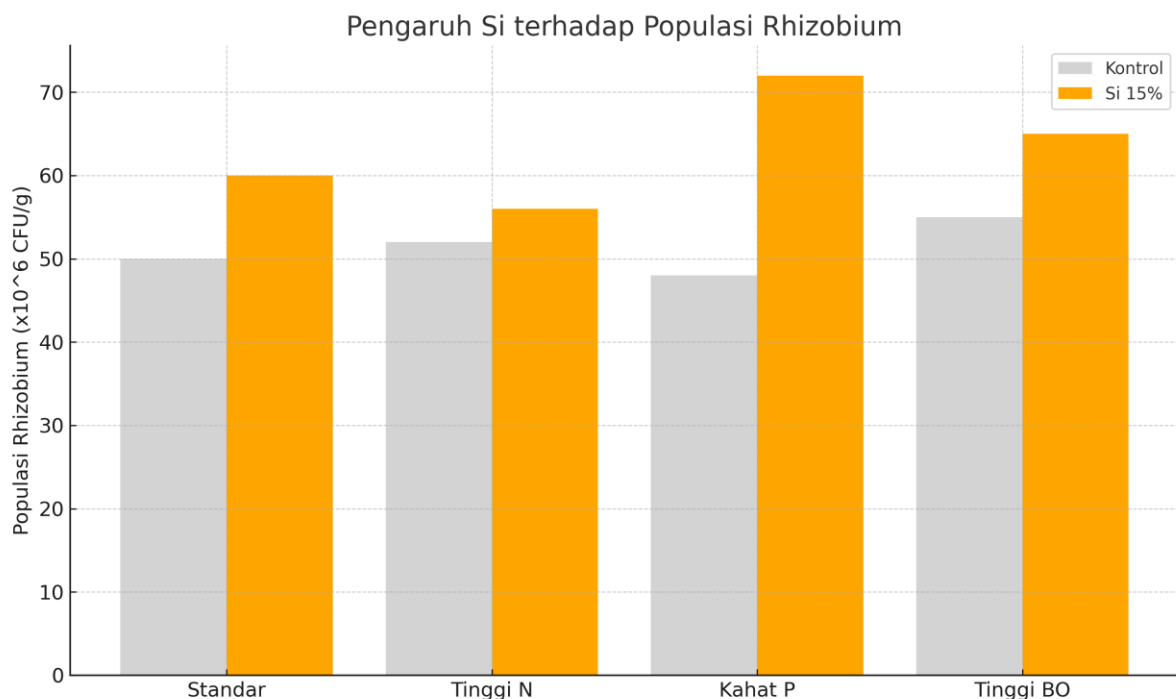
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi silikon (Si) berpengaruh signifikan terhadap populasi mikroba tanah, baik total bakteri maupun bakteri penambat N (*Rhizobium*), terutama pada media tanam dengan kondisi

cekaman hara. Berdasarkan Gambar 1, aplikasi Si 15% pada media tinggi N (M2) meningkatkan populasi total bakteri sebesar 134,6% dibandingkan kontrol, sedangkan pada media kahat P (M3) peningkatan mencapai 134,7%. Peningkatan yang signifikan ini menunjukkan bahwa Si mampu menciptakan lingkungan tanah yang lebih kondusif untuk pertumbuhan mikroba.



Gambar 1. Pengaruh aplikasi Si terhadap populasi total bakteri pada berbagai media tanam.



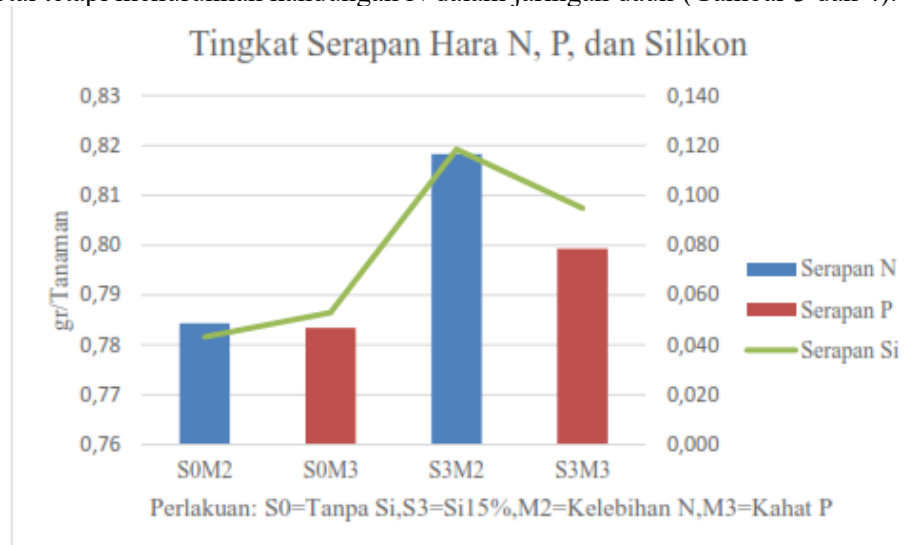
Gambar 2. Pengaruh aplikasi Si terhadap populasi Rhizobium pada berbagai media tanam.

Peningkatan populasi *Rhizobium* juga teramati (Gambar 2), di mana pada media kahat P terjadi kenaikan hingga 49,8% dibandingkan kontrol, sedangkan pada media tinggi N peningkatannya sebesar 7,6%. Peningkatan ini penting karena *Rhizobium* berperan dalam fiksasi N_2 atmosfer menjadi NH_4^+ yang dapat dimanfaatkan tanaman (Zahran, 2001). Pada tanah dengan ketersediaan P rendah, aktivitas *Rhizobium* biasanya terhambat karena kebutuhan P tinggi untuk sintesis ATP dalam proses fiksasi nitrogen (Israel, 1987). Dengan meningkatnya P akibat aplikasi Si, aktivitas *Rhizobium* dapat berjalan lebih optimal.

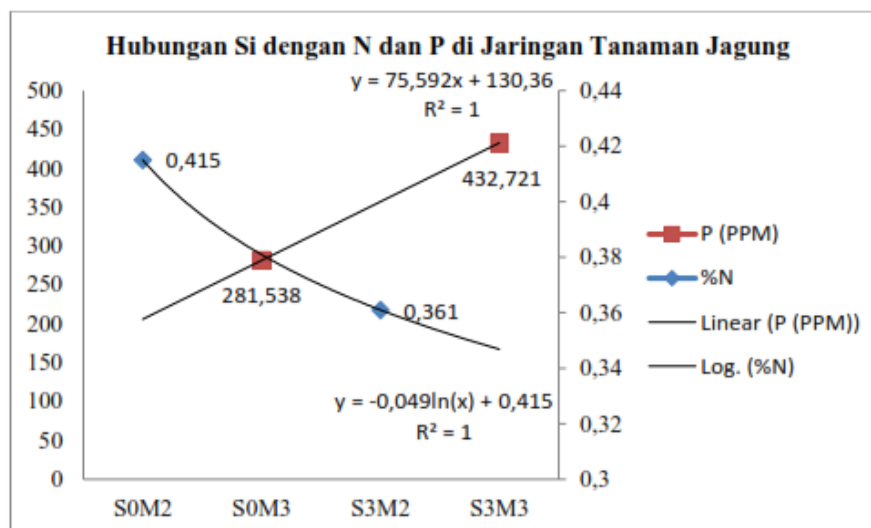
Secara biologis, peran Si dalam meningkatkan populasi mikroba dapat dijelaskan melalui dua mekanisme utama. Pertama, Si berfungsi sebagai amelioran yang memperbaiki sifat fisik tanah, seperti menurunkan bulk density dan meningkatkan porositas (Ma & Yamaji, 2015). Perubahan ini meningkatkan aerasi tanah dan memfasilitasi pertumbuhan mikroba aerob. Kedua, Si dapat mempengaruhi tanaman secara fisiologis, misalnya meningkatkan ketahanan terhadap stres sehingga akar mengeluarkan eksudat dalam jumlah lebih besar (Guntzer et al., 2012). Eksudat akar mengandung senyawa karbon sederhana seperti asam amino, asam organik, dan gula, yang menjadi sumber energi utama bagi mikroba (Badri & Vivanco, 2009).

Hasil ini sejalan dengan penelitian Vasanthi et al. (2014) yang melaporkan bahwa aplikasi Si dapat meningkatkan populasi bakteri pelarut silikat (*Bacillus mucilaginosus*) dan pelarut fosfat (*Pseudomonas fluorescens*) di tanah masam. Pada penelitian tersebut, peningkatan populasi mikroba diiringi dengan peningkatan ketersediaan Si dan P di tanah, yang kemudian berdampak pada peningkatan hasil tanaman padi.

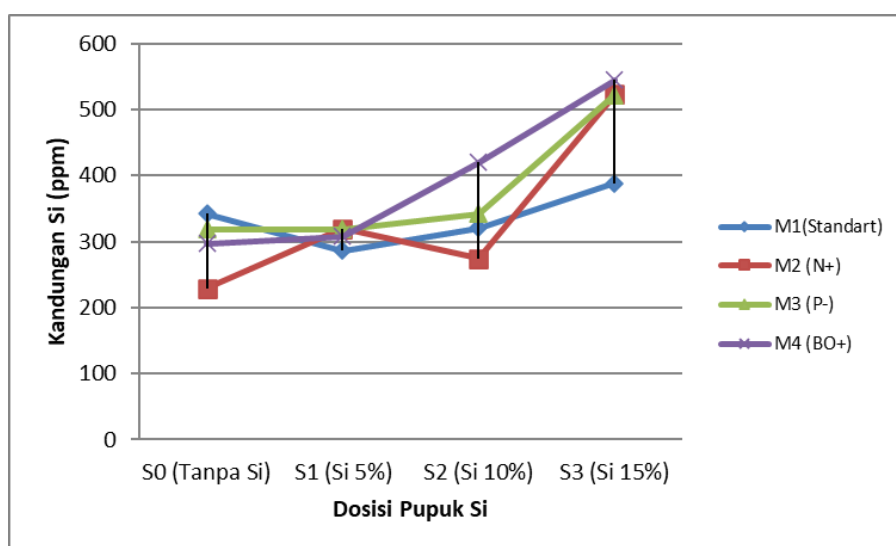
Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pada media tinggi N (M2), aplikasi Si 15% meningkatkan serapan N total tetapi menurunkan kandungan N dalam jaringan daun (Gambar 3 dan 4).



Gambar 3. Tingkat Serapan hara N, P, dan Silikon pada Puncak Pertumbuhan Vegetatif (45 Hari Setelah Tanam)



Gambar 4. Hubungan Si, N, dan P di Jaringan Tanaman



Gambar 5. Kandungan Si Jaringan daun

Fenomena ini dikenal sebagai pengurangan *luxury consumption*, di mana tanaman tidak lagi mengakumulasi N secara berlebihan di jaringan tanpa meningkatkan pertumbuhan (Mitani & Ma, 2005). Penurunan kandungan N jaringan ini mengindikasikan bahwa N digunakan lebih efisien untuk pembentukan biomassa atau organ produktif, bukan untuk penyimpanan berlebih.

Efisiensi penggunaan N atau *Nitrogen Use Efficiency* (NUE) adalah indikator penting dalam pengelolaan pupuk nitrogen, karena efisiensi rendah tidak hanya merugikan secara ekonomi tetapi juga berkontribusi pada pencemaran lingkungan (Raun & Johnson, 1999). Aplikasi Si pada media tinggi N dalam penelitian ini tampaknya membantu meningkatkan NUE dengan cara mengatur distribusi N dalam jaringan tanaman, memperkuat dinding sel melalui deposit silika, sehingga mengurangi kerusakan jaringan akibat patogen dan memperpanjang umur daun aktif fotosintesis (Epstein, 1999), serta meningkatkan laju fotosintesis melalui peningkatan efisiensi penggunaan stomata.

Beberapa penelitian pada tanaman padi juga melaporkan efek serupa. Pulung (2007) menunjukkan bahwa pemberian Si pada padi sawah dengan dosis N tinggi menurunkan kandungan N daun tetapi meningkatkan hasil gabah, menunjukkan adanya peningkatan efisiensi N.

Pada media kahat P (M3), aplikasi Si 15% meningkatkan kandungan P jaringan tanaman sebesar 53,7% dibandingkan kontrol (Gambar 4) sejalan dengan peningkatan serapan unsur tersebut (Gambar 3). Mekanisme peningkatan serapan P oleh Si dapat dijelaskan dari aspek kimia tanah dimana ion silikat (SiO_4^{4-}) memiliki afinitas lebih tinggi terhadap tapak jerapan Fe dan Al dibandingkan fosfat (PO_4^{3-}), sehingga dapat menggantikan P yang sebelumnya terikat kuat dan melepaskannya ke larutan tanah (Matichenkov & Calvert, 2002). Proses ini dikenal sebagai *anion competition*. Selain itu, Si

dapat membentuk kompleks dengan P sehingga mengurangi pelindian P dari lapisan tanah atas. Penelitian Liang et al. (2015) menunjukkan bahwa aplikasi Si pada tanah masam dapat mengurangi kehilangan P melalui aliran permukaan dan pencucian hingga 45%.

Sinergi antara Si dan mikroba pelarut fosfat juga berperan dalam peningkatan serapan P. Populasi bakteri pelarut fosfat cenderung meningkat pada tanah dengan kandungan Si tinggi, kemungkinan karena kondisi tanah menjadi lebih netral dan kaya sumber karbon dari eksudat akar (Meena et al., 2014). Pada penelitian ini, peningkatan populasi total bakteri pada M3 (tanah kahat P) sejalan dengan peningkatan kandungan P jaringan, yang mendukung hipotesis tersebut.

Hubungan antara Si, N, dan P dalam penelitian ini menunjukkan adanya pola interaksi yang bergantung pada kondisi media tanam. Pada media tinggi N, peningkatan kandungan Si daun berbanding terbalik dengan kandungan N daun, sedangkan pada media kahat P, peningkatan kandungan Si daun berbanding lurus dengan kandungan P daun (Gambar 5).

Secara fisiologis, hubungan negatif Si–N pada media tinggi N dapat dijelaskan oleh adanya prioritas penggunaan N untuk pembentukan biomassa daripada akumulasi di daun. Sebaliknya, hubungan positif Si–P pada media kahat P mencerminkan peran Si dalam memobilisasi P dari fraksi tidak tersedia menjadi tersedia.

Model interaksi ini relevan untuk perancangan program pemupukan terpadu berbasis Si, di mana dosis Si dapat diatur untuk menyeimbangkan rasio N:P sesuai kebutuhan tanaman pada kondisi lahan tertentu.

Berdasarkan Gambar 5, kandungan Si daun meningkat seiring dengan dosis Si yang diberikan, dengan nilai lebih tinggi pada media tinggi N (M2) dan tinggi bahan organik (M4). Peningkatan ini diikuti oleh perubahan parameter fisiologis seperti jumlah stomata dan berat kering tanaman sebagai parameter utama pertumbuhan.

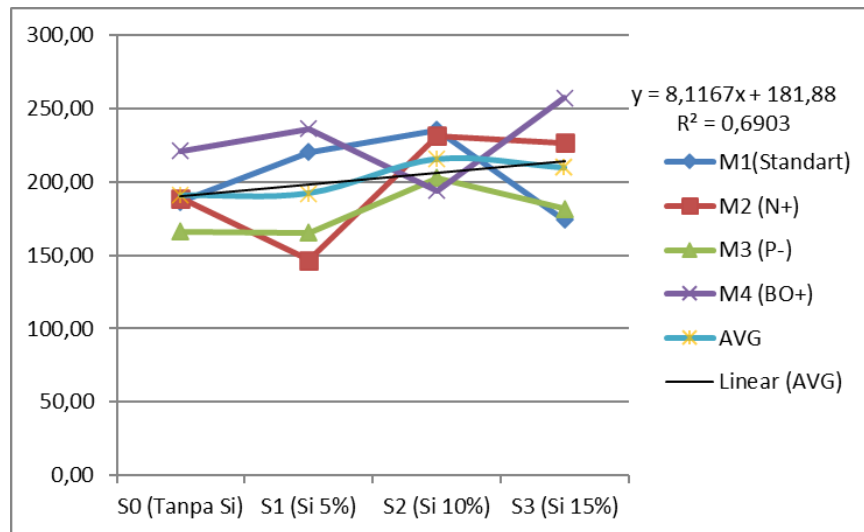
Jumlah stomata meningkat pada perlakuan Si 15%, terutama pada media kahat P, yang berdampak pada peningkatan kapasitas pertukaran gas dan fotosintesis (Tabel 1). Berat kering tanaman yang cenderung lebih tinggi pada media tercekam dengan aplikasi Si menunjukkan peran Si dalam mempertahankan pertumbuhan meskipun kondisi nutrisi tidak ideal (Gambar 6).

Tabel 1. Jumlah dan Kerapatan Stomata Daun

Perlakuan	Jumlah Stomata	Kerapatan Stomata (/mm ²)
Dosis Si		
Tanpa Si (S0)	86,17a	439,07a
Si 5% (S1)	87,58a	446,28a
Si 10% (S2)	90,08a	459,02a
Si 15% (S3)	104,41b	532,06b
Duncan 5%	4.25	21.68
Jenis Media		
Standart (M1)	95,50a	486,62a
Tinggi N(M2)	86,17a	439,07a
Kahat P (M3)	102,42b	521,87b
Tinggi BO (M4)	84,17a	428,87a
Duncan 5%	4.25	21.68
KK (%)	16.01	16.01

Noted: Angka yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT

Gambar 6 Tingkat kerapatan stomata



Gambar 7. Berat Kering Tanaman (gr) 65 HST Tanaman pada media tinggi N mengalami stres fisiologis akibat ketidakseimbangan hara, yang dapat menyebabkan pertumbuhan vegetatif berlebihan tetapi produksi generatif rendah. Sebaliknya, pada media kahat P, pertumbuhan akar dan pembentukan biji terhambat. Dalam kedua kondisi ini, Si berperan sebagai *stress alleviator*.

Pada media tinggi N, Si membantu menyalurkan N ke fungsi produktif melalui peningkatan efisiensi fotosintesis dan pengaturan pembukaan stomata. Pada media kahat P, Si meningkatkan ketersediaan P baik melalui mekanisme kimia (kompetisi anion) maupun biologis (aktivitas mikroba pelarut fosfat). Efek ini sejalan dengan konsep *Integrated Nutrient Management* (INM), di mana Si menjadi bagian dari strategi pengelolaan hara berkelanjutan.

Hasil penelitian ini memperkuat gagasan bahwa aplikasi Si tidak hanya memberikan manfaat langsung pada tanaman, tetapi juga berperan dalam menjaga kesehatan ekosistem tanah. Dengan meningkatkan populasi mikroba bermanfaat, memperbaiki ketersediaan dan tingkat serapan N dan P, serta mendukung fungsi fisiologis tanaman, Si dapat menjadi komponen penting dalam sistem pemupukan berimbang.

Dalam konteks pertanian jagung di Indonesia, aplikasi Si berpotensi besar untuk meningkatkan produktivitas pada lahan masam dengan P rendah dan pada lahan intensif dengan penggunaan N tinggi. Penggunaan Si dalam bentuk bahan alami seperti abu sekam atau slag baja dapat menjadi alternatif ekonomis sekaligus ramah lingkungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Aplikasi silikon (Si) berpengaruh nyata terhadap populasi mikroba tanah, terutama total bakteri dan *Rhizobium*, dengan peningkatan tertinggi pada media tinggi N dan kahat P. Pada media tinggi N, Si meningkatkan serapan N total tetapi menurunkan kandungan N daun, sedangkan pada media kahat P, Si meningkatkan kandungan P jaringan tanaman hingga 53,7%. Hubungan antara kandungan Si

dengan N dan P bergantung pada kondisi media tanam yaitu negatif pada Si-N di media tinggi N, dan positif pada Si-P di media kahat P. Peningkatan kandungan Si daun berimplikasi terhadap karakteristik fisiologis (jumlah stomata dan berat kering tanaman) yang mendukung pertumbuhan tanaman di bawah stres nutrisi. Si berperan ganda sebagai amelioran tanah dan stimulator biologis, sehingga potensial menjadi komponen penting dalam strategi pengelolaan hara berkelanjutan pada budidaya jagung.

Aplikasi Si perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari paket pemupukan berimbang, terutama pada lahan masam dengan kahat P dan lahan intensif dengan kelebihan N. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi sumber Si alami yang ekonomis dan ramah lingkungan seperti abu sekam padi atau limbah industri berbasis silikat. Studi jangka panjang diperlukan untuk mengevaluasi dampak aplikasi Si terhadap keseimbangan ekosistem tanah dan produktivitas berkelanjutan. Pengukuran aktivitas enzim tanah (fosfatase, urease) dan diversitas mikroba dengan teknik molekuler akan memberikan gambaran lebih detail

mengenai mekanisme biologis interaksi Si-N-P.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Jember dan Majelis Pendidikan Tinggi Penelitian dan Pengembangan PP Muhammadiyah atas dana hibah sehingga kegiatan ini terlaksana.

DAFTAR RUJUKAN

- Badri, D. V., & Vivanco, J. M. 2009. Regulation and function of root exudates. *Plant, Cell & Environment*, 32(6), 666–681. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01926.x>
- Bakhat, H. F., et al. 2018. Silicon: A sustainable approach to improve nitrogen efficiency in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 125, 262–276. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.011>
- BPS. 2018. Statistik Tanaman Pangan 2018. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Chanchal, D., et al. 2016. Silicon in agriculture: from theory to practice. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 3(2), 93–99.
- Djajadi. 2013. Silikon dalam tanah dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. *Jurnal Tanah Tropika*, 18(3), 155–162.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641–664.
- Guntzer, F., Keller, C., & Meunier, J. D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 201–213.
- Israel, D. W. 1987. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. *Plant Physiology*, 84(3), 835–840.
- Liang, Y., et al. 2015. Effects of silicon on phosphorus loss from soil in surface runoff. *Geoderma*, 239–240, 1–8.
- Ma, J. F., & Yamaji, N. 2015. A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science*, 20(7), 435–442.
- Matichenkov, V. V., & Calvert, D. V. 2002. Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists*, 22, 21–30.
- Meena, V. D., et al. 2014. Silicon in mitigation of drought stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 268–277.
- Mitani, N., & Ma, J. F. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, 56(414), 1255–1261.
- Pulung, M. A. 2007. Pengaruh pemberian silikat terhadap efisiensi penggunaan nitrogen pada padi sawah. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 9(1), 35–41.
- Ranganathan, S., et al. 2006. The role of silicon in agriculture. *Agriculture Reviews*, 27(3), 211–220.
- Raun, W. R., & Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91(3), 357–363.
- Rodríguez, H., & Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4-5), 319–339.
- Roesmarkam, S., & Yuwono, N. W. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Kanisius, Yogyakarta.
- Vasanthi, N., et al. 2014. Silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(10), 1–6.
- Vashanti, M. 2012. Silicon in soil and plants: A review. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 60(2), 151–158.
- Yoshida, S., et al. 1986. *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*. IRRI, Los Baños, Philippines.
- Zahran, H. H. 2001. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 65(4), 968–989.