

PERFORMA FOTOSINTESIS DAN KONDUKTANSI STOMATA TANAMAN JAGUNG PADA KONDISI CEKAMAN NITROGEN

PHOTOSYNTHETIC PERFORMANCE AND STOMATAL CONDUCTANCE OF CORN UNDER NITROGEN STRESS

Valensi Kautsar^{1,2*}, Suparman³, Kuni Faizah³, Filiphus³, dan Ismail Qori Pohan³

¹Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Stiper (INSTIPER), Yogyakarta, Indonesia

²Magister Manajemen Perkebunan, Institut Pertanian Stiper (INSTIPER), Yogyakarta, Indonesia

³Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Stiper (INSTIPER), Yogyakarta, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: valkauts@instiperjogja.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 30 October 2024

Peer Review: 05 November 2024

Accepted: 10 December 2025

KATA KUNCI:

CO₂ interselular, defisiensi nitrogen, konduktansi stomata, laju transpirasi, manajemen nutrisi

KEYWORDS:

Intercellular CO₂, nutrient management, nitrogen deficiency, stomatal conductance, transpiration rate

ABSTRAK

Salah satu unsur hara esensial yang menentukan produktivitas jagung adalah nitrogen, yang berperan dalam proses fotosintesis dan metabolisme tanaman. Namun, kekurangan nitrogen dapat menurunkan aktivitas fotosintesis, transpirasi, dan produktivitas tanaman secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh defisiensi nitrogen terhadap aktivitas fotosintesis tanaman jagung, dengan fokus pada pengukuran kandungan klorofil (SPAD), laju fotosintesis bersih, laju transpirasi, kandungan CO₂ interselular, konduktansi stomata, konduktansi total terhadap uap air, dan konduktansi total terhadap CO₂. Penelitian menggunakan dua perlakuan yaitu pemupukan nitrogen dasar dengan tambahan nitrogen setelah 30 HST, dan perlakuan tanpa penambahan nitrogen. Pengukuran dilakukan menggunakan SPAD meter dan LiCOR 6800 Portable Photosynthesis System pada 35 HST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nitrogen secara signifikan meningkatkan kandungan klorofil dengan nilai SPAD pada perlakuan kontrol sebesar 49.20, dibandingkan 31.64 pada perlakuan tanpa nitrogen ($P < 0.001$). Selain itu, kandungan CO₂ interselular juga lebih tinggi pada perlakuan kontrol (256.67 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) dibandingkan perlakuan tanpa nitrogen (130.50 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), yang mengindikasikan peningkatan efisiensi fotosintesis. Laju fotosintesis bersih juga secara signifikan lebih tinggi pada perlakuan kontrol (22.08 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) dibandingkan dengan perlakuan tanpa nitrogen tambahan (14.45 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Hal ini menunjukkan, pemberian nitrogen tambahan berpengaruh signifikan terhadap peningkatan efisiensi fotosintesis melalui peningkatan kandungan klorofil, CO₂ interselular, dan laju fotosintesis bersih namun belum secara signifikan memengaruhi laju transpirasi dan regulasi stomata.

ABSTRACT

One of the essential nutrients that determines corn productivity is nitrogen, which plays a crucial role in photosynthesis and plant metabolism. However, nitrogen deficiency can reduce photosynthetic activity, transpiration, and overall plant productivity. This study aims to evaluate the impact of nitrogen deficiency on the photosynthetic activity of corn, focusing on the measurement of chlorophyll content (SPAD), net photosynthetic rate, transpiration rate, intercellular CO₂ concentration, stomatal conductance, total conductance to water vapor, and total conductance to CO₂. The research involved two treatments: basic nitrogen fertilization with additional nitrogen applied 30 days after planting (DAP), and treatment without additional nitrogen. Measurements were conducted using a SPAD meter and the LiCOR 6800 Portable Photosynthesis System at 35 DAP. The results showed that additional nitrogen significantly increased chlorophyll content, with SPAD values of 49.20 in the control treatment compared to 31.64 in the treatment without additional nitrogen ($P < 0.001$). Furthermore, intercellular CO₂ concentration was higher in the control treatment (256.67 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) than in the treatment without additional nitrogen (130.50 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), indicating improved photosynthetic efficiency. Net photosynthetic rate was also significantly higher in the control treatment (22.08 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) compared to the treatment without additional nitrogen (14.45 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). These findings suggest that while additional nitrogen significantly enhances photosynthetic efficiency by increasing chlorophyll content, intercellular CO₂, and net photosynthetic rate, it does not yet have a significant effect on transpiration rate and stomatal regulation.

1. PENDAHULUAN

Jagung (*Zea mays* L.) adalah salah satu tanaman pangan utama di dunia dan memegang peranan penting dalam sistem pertanian global, termasuk di Indonesia. Di Indonesia, jagung bukan hanya komoditas pangan pokok kedua setelah padi, tetapi juga menjadi komoditas ekonomi yang signifikan, terutama untuk industri pakan ternak (Asibi *et al.*, 2019; Erenstein *et al.*, 2022; Tanumihardjo *et al.*, 2020). Dengan konsumsi yang meningkat, produktivitas jagung harus dijaga untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional dan mendukung pertumbuhan ekonomi. Untuk mencapai hal ini, manajemen nutrisi yang tepat, terutama nitrogen, menjadi kunci dalam menentukan hasil panen yang optimal (Amoah *et al.*, 2025; Erenstein *et al.*, 2022; Hudoyo dan Nurmayasari, 2020).

Nitrogen (N) adalah unsur hara makro esensial yang memainkan peran penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Nitrogen adalah komponen utama dalam klorofil, pigmen hijau yang berperan dalam menangkap energi cahaya yang dibutuhkan untuk fotosintesis. Selain itu, nitrogen terlibat dalam sintesis asam amino, protein, dan enzim yang sangat penting untuk metabolisme tanaman (Amoah *et al.*, 2025; Li *et al.*, 2021b; Vos *et al.*, 2005). Oleh karena itu, kecukupan nitrogen sangat penting untuk memastikan bahwa tanaman jagung dapat menjalankan proses fotosintesis dengan efisien, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap produktivitas tanaman. Dalam budidaya jagung, ketidakseimbangan atau kekurangan nitrogen dapat menyebabkan penurunan hasil panen, karena berkurangnya aktivitas fotosintesis, pengurangan luas daun, dan penurunan kandungan nitrogen dalam jaringan tanaman (Amoah *et al.*, 2025; Chen *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2021b; Mu dan Chen, 2021; Gao *et al.*, 2023).

Secara umum, tanaman menunjukkan respons fisiologis dan morfologis terhadap kekurangan unsur hara, termasuk nitrogen, dengan berbagai cara. Pada tanaman jagung, defisiensi nitrogen dapat menyebabkan klorosis atau perubahan warna daun menjadi kuning, terutama pada daun yang lebih tua. Hal ini karena nitrogen bersifat mobil dan akan dipindahkan dari daun tua ke jaringan yang lebih muda saat ketersediaannya terbatas. Selain perubahan visual ini, defisiensi nitrogen juga berdampak pada penurunan aktivitas fotosintesis karena penurunan kandungan klorofil dan gangguan pada proses fisiologis yang penting seperti transpirasi, konduktansi stomata, dan laju asimilasi karbon (Jin *et al.*, 2014; Mu dan Chen, 2021; Fan *et al.*, 2022). Penelitian Faralli *et al.*, (2023) menunjukkan peningkatan kadar nitrogen secara umum meningkatkan konduktansi stomata dan efisiensi penggunaan air, sementara keterbatasan hara menyebabkan adaptasi fisiologis seperti peningkatan biomassa akar. Pada jagung, dinamika SPAD dapat dimanfaatkan untuk manajemen nitrogen presisi. Respons SPAD terhadap pemupukan N dilaporkan lebih kuat pada fase reproduktif dibanding fase vegetatif. Pendekatan berbasis indeks kecukupan (*sufficiency index*) juga digunakan untuk mengaitkan pembacaan SPAD dengan hasil panen (Shivashankar *et al.*, 2025). Penelitian Chen *et al.*, (2023) menunjukkan nilai SPAD di dalam kanopi jagung tidak homogen dan cenderung mengikuti distribusi vertikal berbentuk '*bell-shaped*', sehingga pemilihan posisi daun berpengaruh terhadap interpretasi kandungan klorofil dan, secara tidak langsung, status nitrogen tanaman.

Penurunan aktivitas fotosintesis pada tanaman yang mengalami defisiensi nitrogen tidak hanya terkait dengan penurunan kandungan klorofil, tetapi juga dengan penurunan efisiensi penggunaan air. Nitrogen memengaruhi efisiensi fotosintesis melalui kontrol pada konduktansi stomata, di mana stomata berperan dalam mengatur masuknya CO₂ ke dalam daun serta kehilangan uap air melalui transpirasi (Chen *et al.*, 2015; Mu dan Chen, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa defisiensi nitrogen dapat meningkatkan konsentrasi CO₂ interselular (C_i) karena berkurangnya kapasitas tanaman untuk memanfaatkan CO₂ yang tersedia dalam proses fotosintesis. Hal ini, pada gilirannya, mengurangi laju fotosintesis dan dapat mempengaruhi keseimbangan energi tanaman, yang penting untuk mempertahankan pertumbuhan dan hasil tanaman yang tinggi (Mu dan Chen, 2021). Sejalan dengan itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa defisiensi nitrogen menyebabkan

perubahan pada pola transpirasi dan keseimbangan energi tanaman. Ketika nitrogen dalam jumlah yang cukup tersedia, tanaman dapat mempertahankan keseimbangan yang tepat antara serapan karbon dan kehilangan air melalui transpirasi. Namun, pada kondisi kekurangan nitrogen, tanaman mengalami penurunan konduktansi stomata dan laju transpirasi, yang pada akhirnya mengurangi aktivitas fotosintesis dan produktivitas tanaman secara keseluruhan (Fan *et al.*, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh defisiensi nitrogen terhadap aktivitas fotosintesis tanaman jagung dengan mengukur parameter-parameter penting seperti kandungan klorofil, laju transpirasi, kandungan CO₂ interselular, konduktansi stomata, konduktansi total terhadap uap air dan konduktansi total terhadap CO₂. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme fisiologis tanaman jagung dalam menanggapi kekurangan nitrogen, serta implikasi praktisnya dalam manajemen nutrisi tanaman di lapangan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September hingga Oktober 2024 di lahan jagung milik petani yang berlokasi di Desa Wedomartani, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Provinsi D.I. Yogyakarta, pada ketinggian sekitar 150 mdpl. Varietas jagung yang digunakan dalam penelitian ini adalah jagung hibrida Pertiwi 3, yang dikenal memiliki potensi hasil tinggi dan adaptasi yang baik terhadap lingkungan tropis. Penanaman dilakukan secara langsung di lahan petani dengan jarak tanam 70 cm x 20 cm, di mana setiap lubang tanam diisi dengan dua benih jagung, kemudian dilakukan penjarangan sehingga tersisa satu tanaman per lubang.

2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua perlakuan pemupukan yang berbeda. Perlakuan pertama diberikan pemupukan dasar dengan pupuk nitrogen (N) sebanyak 150 kg/ha serta pupuk NPK sebesar 150 kg/ha pada saat awal tanam. Pemupukan nitrogen kedua dilakukan pada 30 hari setelah tanam (HST) sebesar 150 kg/ha, yang diharapkan dapat mendukung fase pertumbuhan vegetatif dan meningkatkan aktivitas fotosintesis. Sementara itu, perlakuan kedua hanya mendapatkan pemupukan dasar sebesar 150 kg/ha nitrogen dan 150 kg NPK tanpa pemupukan tambahan setelah 30 HST. Untuk mengeliminasi pengaruh lingkungan akibat perbedaan perlakuan, tanaman pada perlakuan kedua dipindahkan ke polibag berukuran 12 liter (± 30 cm tinggi, ± 25 cm diameter) pada usia 28 HST. Hal ini dilakukan agar tidak ada pengaruh tambahan nutrisi dari lahan pertanian yang telah menerima pemupukan tambahan melalui air irigasi.

2.3 Pengukuran Aktivitas Fotosintesis dan Klorofil

Pengukuran aktivitas fotosintesis dan klorofil dilakukan pada usia 35 HST. Pada saat ini, tanaman sudah memasuki fase pertumbuhan vegetatif dengan daun-daun yang sudah membuka penuh, yang ideal untuk mengukur parameter fotosintesis secara akurat. Selain itu dimungkinkan pengaruh dengan atau tanpa pemupukan tambahan dapat terlihat lebih signifikan. Pengukuran dilakukan pada daun yang telah membuka sempurna, yaitu daun urutan ke-2 hingga ke-3 dari pucuk tanaman.

Klorofil diukur secara non-destruktif, sebagai ukuran tingkat kehijauan daun, menggunakan Konica Minolta Chlorophyll Meter SPAD-502Plus. SPAD meter bekerja dengan mendeteksi transmisi cahaya pada dua panjang gelombang yang berbeda untuk memperkirakan kandungan klorofil pada daun (Süß *et al.*, 2015). Pengukuran SPAD dilakukan pada beberapa titik di setiap daun untuk

mendapatkan rata-rata yang lebih akurat, mengingat distribusi klorofil di sepanjang permukaan daun bisa bervariasi.

Untuk pengukuran laju transpirasi, kandungan CO₂ interselular, konduktansi stomata, konduktansi total terhadap uap air dan konduktansi total terhadap CO₂, digunakan LiCOR 6800 Portable Photosynthesis System. LiCOR mengukur fluks gas di sekitar daun, sehingga memberikan data yang akurat tentang laju fotosintesis, penggunaan air, dan efisiensi tanaman dalam menangkap energi cahaya. Pengukuran dilakukan pada rentang waktu pukul 08.00 hingga 14.00, waktu di mana tanaman berada pada fase aktif dalam melakukan proses fotosintesis. Pengukuran dilakukan pada waktu tersebut untuk memastikan bahwa aktivitas fotosintesis optimal dan tidak dipengaruhi oleh fluktuasi suhu atau kondisi lingkungan lainnya. Meskipun rentang waktu pengukuran cukup panjang, penelitian ini memastikan bahwa nilai CO₂ ambient selama pengukuran tetap stabil pada kisaran 363-400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, sehingga tidak memengaruhi hasil pengukuran. Selama pengukuran dengan LiCOR 6800, beberapa parameter yang diukur yakni laju transpirasi, konduktansi stomata, kandungan CO₂ interselular, konduktansi total terhadap uap air dan konduktansi total terhadap CO₂. Prosedur pengukuran mengikuti prinsip-prinsip best practice pengukuran gas exchange dan upaya meminimalkan sumber bias pengukuran (Busch *et al.*, 2024; Garen *et al.*, 2022).

2.4 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengukuran SPAD meter dan LiCOR 6800 dianalisis secara statistik untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan defisiensi nitrogen terhadap aktivitas fotosintesis tanaman jagung. Perbandingan dilakukan antara tanaman yang mendapatkan pemupukan tambahan dan yang hanya mendapatkan pemupukan dasar. Analisis dilakukan dengan menggunakan *independent t-test* untuk menguji signifikansi perbedaan antar perlakuan pada parameter fotosintesis yang diukur.

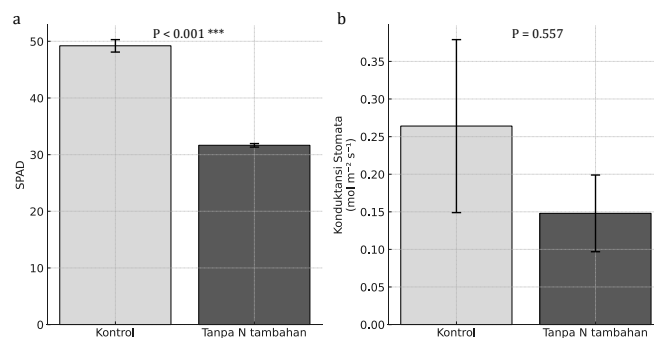
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada nilai SPAD antara perlakuan kontrol dan tanpa penambahan nitrogen (Gambar 1a). Perlakuan kontrol, dengan penambahan nitrogen, menghasilkan nilai SPAD sebesar 49.20, berbeda signifikan dibandingkan perlakuan tanpa penambahan nitrogen yang menunjukkan nilai SPAD sebesar 31.64. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan nitrogen secara langsung berperan dalam meningkatkan kandungan klorofil daun. Nitrogen adalah unsur hara esensial yang diperlukan untuk sintesis klorofil, sehingga kekurangannya akan menurunkan kemampuan tanaman dalam menangkap energi cahaya untuk proses fotosintesis (Mengesha, 2021; Li *et al.*, 2021). Nilai SPAD yang lebih rendah pada tanaman tanpa penambahan nitrogen menunjukkan terjadinya defisiensi klorofil, yang dapat mempengaruhi efisiensi fotosintesis dan produktivitas tanaman. Sebaliknya, konduktansi stomata tidak menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua perlakuan, dengan nilai pada kontrol sebesar 0.264 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dan pada tanaman tanpa penambahan nitrogen sebesar 0.148 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($P = 0.557$) (Gambar 1b). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun penambahan nitrogen meningkatkan kandungan klorofil, hal tersebut tidak memengaruhi secara signifikan mekanisme stomatal.

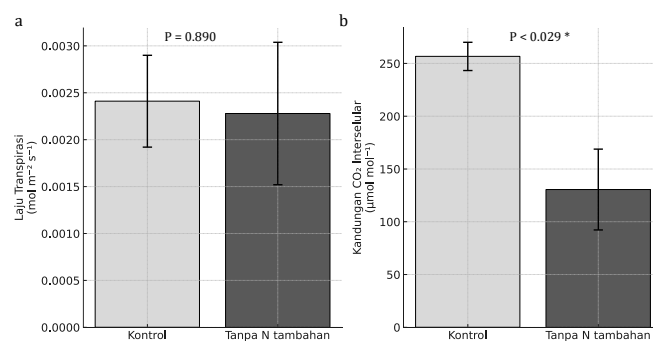
Konduktansi stomata terkait dengan kemampuan tanaman dalam mengatur pertukaran gas dan transpirasi air melalui daun. Proses ini penting untuk fotosintesis, transpirasi, dan produktivitas tanaman secara keseluruhan. Konduktansi stomata secara signifikan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti perbedaan suhu antara daun dan udara, radiasi fotosintesis, dan suhu udara (Lamour *et al.*, 2022; Mu dan Chen, 2021; Sun *et al.*, 2023). Hasil yang tidak signifikan ini dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang masih mendukung fungsi stomatal pada kedua perlakuan, atau dimungkinkan efek nitrogen terhadap konduktansi stomata memerlukan waktu yang lebih lama

untuk dapat diamati. Konduktansi stomata yang lebih rendah pada perlakuan tanpa nitrogen dapat dikaitkan dengan kondisi fisiologis yang lebih stres, meskipun tidak cukup signifikan secara statistik. Penelitian Faralli *et al.*, (2023) menunjukkan ketersediaan nitrogen secara signifikan memengaruhi konduktansi stomata pada tanaman anggur. Pada saat ketersediaan nitrogen menipis, tanaman menunjukkan konduktansi stomata yang lebih tinggi, yang dikaitkan dengan peningkatan ekstraksi air dan peningkatan status air tanaman. Selain itu, sumber nitrogen yang berbeda antara nitrat dan amonium dapat menyebabkan dampak yang berbeda pada konduktansi stomata, dengan nitrat umumnya meningkatkan konduktansi stomata yang lebih besar dibandingkan dengan amonium. Studi lapang lima tahun (2018–2022) pada jagung menunjukkan bahwa pengembalian sisa tanaman dan peningkatan dosis N meningkatkan nilai SPAD dan laju fotosintesis, dan keduanya berkorelasi positif dengan indikator pertumbuhan serta hasil (Gao *et al.*, 2023).

Terdapat perbedaan yang signifikan dalam respons fisiologis tanaman jagung terhadap penambahan nitrogen, khususnya dalam hal kandungan CO_2 intersektoral, tetapi tidak pada laju transpirasi. Nilai laju transpirasi pada tanaman kontrol dengan penambahan nitrogen tercatat sebesar $0.0024 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, tidak berbeda nyata dibandingkan perlakuan tanpa nitrogen tambahan sebesar $0.0023 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Gambar 2a). Hasil ini mengindikasikan bahwa pemberian nitrogen tidak mempengaruhi laju transpirasi secara signifikan. Laju transpirasi yang stabil di kedua perlakuan menunjukkan bahwa tanaman jagung memiliki mekanisme pengaturan penggunaan air yang efisien, terlepas dari ketersediaan nitrogen. Salah satu alasan yang mungkin adalah kondisi lingkungan yang mendukung sehingga tanaman dapat mempertahankan tingkat transpirasi yang optimal. Selain itu, kapasitas tanaman untuk mengelola kebutuhan airnya melalui respons stomatal mungkin turut berperan, sehingga laju transpirasi tidak dipengaruhi oleh perubahan tingkat nitrogen dalam tanah. Dalam konteks agronomi, hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan nitrogen tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi penggunaan air melalui transpirasi.



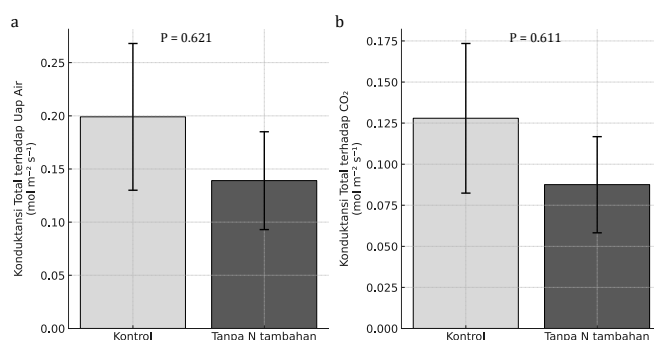
Gambar 1. Pengaruh penambahan nitrogen terhadap (a) nilai SPAD dan (b) konduktansi stomata pada tanaman jagung.



Gambar 2. Pengaruh penambahan nitrogen terhadap (a) laju transpirasi dan (b) kandungan CO_2 intersektoral pada tanaman jagung.

Secara umum, kekurangan nitrogen umumnya menyebabkan penurunan laju transpirasi pada berbagai tanaman yang diakibatkan karena menurunnya konduktansi stomata dan aktivitas fotosintesis (Gong *et al.*, 2020; Kubar *et al.*, 2022; Song *et al.*, 2019). Sebaliknya, perbedaan yang signifikan ditunjukkan pada parameter kandungan CO₂ inter selular antara perlakuan kontrol dan tanpa penambahan nitrogen. Kandungan CO₂ inter selular pada tanaman kontrol sebesar 256.67 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman tanpa penambahan nitrogen yang hanya sebesar 130.50 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Kandungan CO₂ inter selular yang lebih tinggi pada tanaman kontrol menunjukkan adanya peningkatan efisiensi fotosintesis akibat ketersediaan nitrogen yang mencukupi. Dengan penambahan nitrogen, tanaman mampu menghasilkan lebih banyak klorofil, meningkatkan penyerapan cahaya, dan meningkatkan laju asimilasi karbon. Sebaliknya, pada tanaman tanpa nitrogen tambahan, penurunan kandungan CO₂ inter selular dapat dikaitkan dengan berkurangnya aktivitas fotosintesis akibat defisiensi nitrogen, yang membatasi kapasitas tanaman untuk memanfaatkan CO₂ atmosfer (Li *et al.*, 2021b). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa defisiensi nitrogen sering dikaitkan dengan penurunan laju fotosintesis dan efisiensi penggunaan CO₂ pada tanaman. Kandungan CO₂ inter selular yang rendah pada perlakuan tanpa nitrogen tambahan juga dapat mengindikasikan penurunan kapasitas tanaman untuk difusi CO₂ ke dalam kloroplas, yang mungkin disebabkan oleh pengurangan luas daun atau penurunan aktivitas stomatal (Li *et al.*, 2021a). Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan fiksasi karbon dan pada akhirnya mempengaruhi produktivitas tanaman secara keseluruhan.

Tidak terdapat perbedaan signifikan pada parameter konduktansi total terhadap uap air dan konduktansi total terhadap CO₂ antara perlakuan kontrol dengan perlakuan tanpa penambahan nitrogen. Pada konduktansi total terhadap uap air, perlakuan kontrol tercatat sebesar 0.199 mol m⁻² s⁻¹, sedangkan pada tanaman tanpa penambahan nitrogen adalah 0.139 mol m⁻² s⁻¹ (Gambar 3a). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan aplikasi nitrogen pada pemupukan tambahan belum berpengaruh signifikan terhadap regulasi stomatal yang mengatur aliran uap air. Meskipun ada sedikit perbedaan nilai konduktansi, hasil ini menunjukkan bahwa penambahan nitrogen tidak memberikan dampak yang berarti terhadap transpirasi tanaman jagung dalam jangka waktu pengamatan ini. Pada konduktansi total terhadap CO₂ menunjukkan hasil serupa (Gambar 3b). Konduktansi CO₂ pada tanaman kontrol adalah 0.128 mol m⁻² s⁻¹, sedangkan pada perlakuan tanpa penambahan nitrogen tercatat sebesar 0.088 mol m⁻² s⁻¹. Meskipun terdapat sedikit penurunan konduktansi pada tanaman tanpa nitrogen, perbedaan ini tidak signifikan secara statistik.

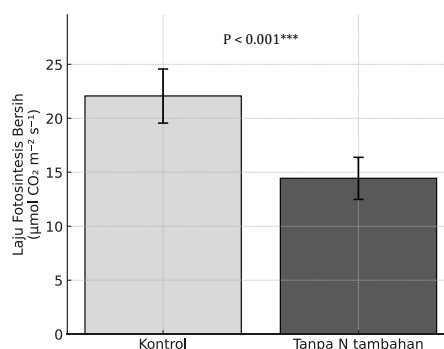


Gambar 3. Pengaruh penambahan nitrogen terhadap (a) konduktansi total terhadap uap air dan (b) konduktansi total terhadap CO₂ pada tanaman jagung.

Penelitian ini menunjukkan pentingnya nitrogen dalam mendukung kesehatan tanaman, khususnya melalui peningkatan efisiensi fotosintesis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian nitrogen tambahan memiliki dampak signifikan pada kandungan klorofil dan kandungan CO₂ interselular, yang berkaitan langsung dengan peningkatan kapasitas fotosintesis. Hal ini konsisten dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa nitrogen merupakan elemen kunci dalam pembentukan klorofil, yang berperan penting dalam menangkap cahaya untuk fotosintesis serta dalam sintesis protein dan enzim yang mendukung reaksi fotosintesis di dalam daun.

Namun, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa penambahan nitrogen pada pemupukan tambahan belum berdampak signifikan terhadap laju transpirasi dan konduktansi stomatal terhadap CO₂. Meskipun konduktansi stomatal adalah komponen penting dalam mengatur pertukaran gas dan uap air, hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas stomata dalam mengatur difusi CO₂ dan air mungkin lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan lain, seperti kelembaban tanah, suhu udara, dan intensitas cahaya. Selain itu, waktu pengamatan yang berjarak 7 hari dari pemupukan tambahan, dimungkinkan belum menunjukkan pengaruh yang signifikan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variabilitas laju transpirasi dan konduktansi stomata seringkali didominasi oleh mikroklimat dan status air, sehingga efek nitrogen tidak selalu tampak pada kondisi lingkungan yang relatif seragam atau ketika respons tanaman belum berkembang penuh (Busch *et al.*, 2024; Liao *et al.*, 2022; Maywald *et al.*, 2022; Orzech *et al.*, 2022).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju fotosintesis bersih pada tanaman jagung dengan perlakuan kontrol ($22.08 \pm 2.51 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa nitrogen tambahan ($14.45 \pm 1.94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($p < 0.001$). Hal ini menegaskan peran penting nitrogen dalam mendukung kapasitas fotosintesis tanaman C₄ seperti jagung. Nitrogen merupakan unsur utama penyusun klorofil dan protein fotosintetik, terutama Rubisco dan enzim siklus C₄, sehingga penurunan ketersediaan N berdampak langsung pada penurunan kapasitas fiksasi karbon. Penurunan laju fotosintesis pada perlakuan tanpa N tambahan menunjukkan keterbatasan fisiologis akibat berkurangnya kandungan protein fotosintetik dan klorofil. Sejalan dengan hasil ini, penelitian Urban *et al.*, (2021) menunjukkan adanya korelasi positif yang kuat antara kandungan N daun dengan laju fotosintesis jagung, di mana defisiensi N menurunkan efisiensi penggunaan nitrogen fotosintetik dan kapasitas asimilasi CO₂. Selain itu, studi terbaru oleh Mu dan Chen (2021) melaporkan bahwa defisiensi nitrogen menurunkan kandungan klorofil, aktivitas enzim siklus C₄, serta konduktansi stomata, yang pada akhirnya membatasi laju fotosintesis bersih. Dengan demikian, hasil percobaan ini konsisten dengan literatur terkini bahwa keterbatasan N menyebabkan penurunan nyata pada laju fotosintesis, sementara suplai N yang memadai menjaga kinerja fotosintetik pada level optimal.



Gambar 4. Pengaruh penambahan nitrogen terhadap laju fotosintesis bersih pada tanaman jagung.

Secara keseluruhan, temuan ini mendukung pentingnya pemberian nitrogen yang optimal untuk meningkatkan kesehatan tanaman, tetapi juga menekankan perlunya pendekatan holistik dalam manajemen nutrisi. Pengelolaan yang baik harus mempertimbangkan interaksi antara ketersediaan nutrisi dan faktor lingkungan lainnya, seperti kelembaban tanah dan suhu, untuk memastikan bahwa seluruh aspek pertumbuhan tanaman dapat dioptimalkan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami bagaimana faktor-faktor lingkungan dan interaksi antar faktor ini memengaruhi respons stomatal, sehingga strategi pemupukan dapat lebih ditargetkan dan disesuaikan dengan kondisi lapangan untuk mencapai produktivitas pertanian yang berkelanjutan. Sebagai pelengkap, pendekatan nondestruktif berbasis fluoresensi klorofil juga telah dikembangkan untuk evaluasi status nitrogen daun jagung dan berpotensi mendukung strategi pemupukan yang lebih presisi (Meng et al., 2024; Shivashankar et al., 2025).

4. KESIMPULAN

Aplikasi nitrogen tambahan berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kandungan klorofil (nilai SPAD), kandungan CO₂ interselular, dan laju fotosintesis bersih pada tanaman jagung. Peningkatan laju fotosintesis mencerminkan peran nitrogen dalam menjaga ketersediaan klorofil dan protein fotosintetik, sehingga mendukung kapasitas asimilasi karbon pada tanaman C4. Sebaliknya, defisiensi nitrogen menurunkan kandungan klorofil dan protein fotosintetik yang berimplikasi pada penurunan nyata kapasitas fotosintesis. Meskipun pemupukan nitrogen meningkatkan efisiensi fotosintesis, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa perlakuan nitrogen tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap laju transpirasi dan konduktansi stomata. Hal ini mengindikasikan bahwa regulasi stomata lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Dengan demikian, manajemen nitrogen yang tepat tidak hanya penting untuk mempertahankan kinerja fotosintetik pada level optimal, tetapi juga harus disinergikan dengan pengelolaan lingkungan untuk mencapai produktivitas pertanian yang berkelanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Penelitian Dosen Pemula tahun 2024 dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Nomor Kontrak 107/E5/PG.02.00.PL/2024.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Amoah, J.N., C. Keitel, & B.N. Kaiser. 2025. Nitrogen deficiency impacts growth and modulates carbon metabolism in maize. *Planta*. 262(94): 1-18.
- Asibi, A.E., Q. Chai, & A. Coulter. 2019. Mechanisms of nitrogen use in maize. *Agronomy*. 9(775): 1-16.
- Busch, F.A., E.A. Ainsworth, A. Amtmann, A.P. Cavanagh, S.M. Driever, J.N. Ferguson, J. Kromdijk, T. Lawson, A.D.B. Leakey, J.S.A. Matthews, K. Meacham-Hensold, R.L. Vath, S. Vialet-Chabrand, B.J. Walker, & M. Papanatsiou. 2024. A guide to photosynthetic gas exchange measurements: fundamental principles, best practice and potential pitfalls. *Plant, Cell & Environment*. 47(9): 3344-3364.
- Chen, Y., C. Xiao, D. Wu, T. Xia, Q. Chen, F. Chen, L. Yuan, & G. Mi. 2015. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. *European Journal of Agronomy*. 62: 79-89.
- Chen, B., G. Huang, X. Lu, S. Gu, W. Wen, G. Wang, W. Chang, X. Guo, & C. Zhao. 2023. Prediction of vertical distribution of SPAD values within maize canopy based on unmanned aerial vehicles

- multispectral imagery. *Frontiers in Plant Science*. 14: 1253536.
- Erenstein, O., M. Jaleta, K. Sonder, K. Mottaleb, & B.M. Prasanna. 2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food security*. 14(5): 1295-1319.
- Fan, P., B. Ming, N. Anten, J. Evers, Y. Li, S. Li, & R. Xie. 2022. Plastic response of leaf traits to N deficiency in field-grown maize. *AoB Plants*. 14(6): 1-10.
- Faralli, M., P. Bianchedi, C. Moser, L. Bontempo, & M. Bertamini. 2023. Nitrogen control of transpiration in grapevine. *Physiologia Plantarum*. 175(e13906): 1-13.
- Gao, F., R. Khan, L. Yang, Y.X. Chi, Y. Wang, & X.B. Zhou. 2023. Uncovering the potentials of long-term straw return and nitrogen supply on subtropical maize (*Zea mays* L.) photosynthesis and grain yield. *Field Crops Research*. 302(109062): 1-9.
- Garen, J.C., H.A. Branch, I. Borrego, B. Blonder, J.R. Stinziano, & S.T. Michaletz. 2022. Gas exchange analysers exhibit large measurement error driven by internal thermal gradients. *New Phytologist*. 236(2): 369-384.
- Gong, X., J. Li, H. Ma, G. Chen, K. Dang, P. Yang, M. Wang, & B. Feng. 2020. Nitrogen deficiency induced a decrease in grain yield related to photosynthetic characteristics, carbon-nitrogen balance and nitrogen use efficiency in proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 66: 398 - 413.
- Hudoyo, A., & I. Nurmayasari. 2020. Peningkatan produktivitas jagung di Indonesia. *Indonesian Journal of Socio Economics*. 1(2): 102-108.
- Jin, X., W. Li, D. Hu, X. Shi, X. Zhang, F. Zhang, Z. Fu, D. Ding, Z. Liu, & J. Tang. 2014. Biological responses and proteomic changes in maize seedlings under nitrogen deficiency. *Plant Molecular Biology Reporter*. 33: 490-504.
- Kubar, M., C. Wang, R. Noor, M. Feng, W. Yang, K. Kubar, K. Soomro, C. Yang, H. Sun, M. Hasan, & W. Mosa. 2022. Nitrogen fertilizer application rates and ratios promote the biochemical and physiological attributes of winter wheat. *Frontiers in Plant Science*. 13(1011515): 1-14.
- Lamour, J., K. Davidson, K. Ely, G. Mogue'edec, A. Leakey, Q. Li, S. Serbin, & A. Rogers. 2022. An improved representation of the relationship between photosynthesis and stomatal conductance leads to more stable estimation of conductance parameters and improves the goodness-of-fit across diverse data sets. *Global Change Biology*. 28: 3537 - 3556.
- Liao, Q., R. Ding, T. Du, S. Kang, L. Tong, & S. Li. 2022. Stomatal conductance drives variations of yield and water use of maize under water and nitrogen stress. *Agricultural Water Management*. 268(107651): 1-10.
- Li, H., J. Li, X. Zhang, T. Shi, X. Chai, P. Hou, & Y. Wang. 2021. Mesophyll conductance, photoprotective process and optimal N partitioning are essential to the maintenance of photosynthesis at N deficient condition in a wheat yellow-green mutant (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Physiology*. 263(153469): 1-10.
- Li, Y., X. Xu, B. Lei, J. Zhuang, X. Zhang, C. Hu, J. Cui, & Y. Liu. 2021. Magnesium-nitrogen co-doped carbon dots enhance plant growth through multifunctional regulation in photosynthesis. *Chemical Engineering Journal*. 422(130114): 1-10.
- Maywald, N.J., A. Hernández-Pridy'ailo, & U. Ludewig. 2022. Nitrogen improves the recovery of maize plants under repeated drought stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 185(5): 612-621.
- Meng, X., S. Zhang, L. Wang, Y. Yu, S. Duan, Y. Zhang, Y. Lv, & Y. Wang. 2024. Evaluating crop nitrogen status in maize leaves: A predictive modelling approach using chlorophyll fluorescence parameters. *Heliyon*. 10(e39601): 1-12.
- Mengsha, M. 2021. Effect and roles of nitrogen supply on photosynthesis. *International Journal of Photochemistry and Photobiology*. 5(2): 19-27.
- Mu, X., & Y. Chen. 2021. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*. 158: 76-82.

- Orzech, K., M. Wanic, & D. Załuski. 2022. Gas exchanges in the leaves of silage maize depending on the forecrop and maize development stage. *Agronomy*. 12(2): 396.
- Shivashankar, K., M.P. Potdar, S. Gawdiya, A. Golshetti, A.K. Kanade, G. Balol, D.P. Biradar, K.K. Math, N. Al-Ansari, S. El-Hendawy, M.A. Mattar, & A. Salem. 2025. SPAD dynamics in maize crop with precision nitrogen management under rain-fed and irrigated conditions. *Scientific Reports*. 15(22842): 1-18.
- Song, X., G. Zhou, B. Ma, W. Wu, I. Ahmad, G. Zhu, W. Yan, & X. Jiao. 2019. Nitrogen application improved photosynthetic productivity, chlorophyll fluorescence, yield and yield components of two oat genotypes under saline conditions. *Agronomy*. 9(115): 1-17.
- Sun, R., J. Ma, X. Sun, S. Bai, L. Zheng, & J. Guo. 2023. Study on a stomatal conductance model of grape leaves in extremely arid areas. *Sustainability* 15(10): 8342.
- Süß, A., M. Danner, C. Obster, M. Locherer, T. Hank, & K. Richter. 2015. Measuring leaf chlorophyll content with the konica minolta SPAD-502Plus – theory, measurement, problems, interpretation. *EnMAP Field Guides Technical Report, GFZ Data Services*. pp. 1-18.
- Tanumihardjo, S., L. McCulley, R. Roh, S. Lopez-Ridaura, N. Palacios-Rojas, & N. Gunaratna. 2020. Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. *Global Food Security*. 25(100327): 1-10.
- Urban, A., P. Rogowski, W. Wasilewska-Dębowska, & E. Romanowska. 2021. Understanding maize response to nitrogen limitation in different light conditions for the improvement of photosynthesis. *Plants*. 10(1932): 1-17.
- Vos, J.P.E.L., P.E.L.V.D. Putten, & C.J. Birch. 2005. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*. 93(1): 64-73.