

# Respon Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Buncis (*Phaseolus Vulgaris L.*) Terhadap Pemberian Berbagai Dosis Poc Azolla Dan Pupuk Kandang Kambing

Muhammad Bilal Akbar Setiawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Muhammadiyah Jember; [bilalakbar240309@gmail.com](mailto:bilalakbar240309@gmail.com)

\*Correspondensi: Muhammad Bilal Akbar Setiawan  
Email: [bilalakbar240309@gmail.com](mailto:bilalakbar240309@gmail.com)

Published: November, 2025



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ing berpengaruh sangat nyata terhadap seluruh parameter vegetatif dan produksi, dengan dosis optimal 4,5 kg/m<sup>2</sup> (pertumbuhan) dan 3 kg/m<sup>2</sup> (produksi). Interaksi nyata teramati pada jumlah cabang primer 35 HST, dengan kombinasi A4K2 (270 ml *Azolla* + 3 kg/m<sup>2</sup> pupuk kandang) memberikan hasil terbaik. Kombinasi POC *Azolla* dan pupuk kandang kambing dapat meningkatkan produktivitas buncis, dengan rekomendasi dosis spesifik untuk target pertumbuhan atau hasil panen.

**Abstrak:** Pupuk organik seperti *Azolla* dan pupuk kandang kambing berpotensi meningkatkan produktivitas tanaman buncis (*Phaseolus vulgaris L.*), namun dosis optimal dan interaksinya perlu dikaji lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh berbagai dosis pupuk organik cair (POC) *Azolla* dan pupuk kandang kambing serta interaksinya terhadap pertumbuhan dan produksi buncis. Percobaan dilakukan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jember menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan 16 kombinasi perlakuan (dosis POC *Azolla*: 240, 250, 260, 270 ml/tanaman; pupuk kandang kambing: 0, 3, 6, 9 kg/plot) dan 3 ulangan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, cabang primer, panjang buah, serta jumlah dan berat buah. POC *Azolla* 270 ml/tanaman signifikan meningkatkan jumlah daun dan cabang primer, sedangkan pupuk kandang kambing berpengaruh sangat nyata terhadap seluruh parameter vegetatif dan produksi, dengan dosis optimal 4,5 kg/m<sup>2</sup> (pertumbuhan) dan 3 kg/m<sup>2</sup> (produksi). Interaksi nyata teramati pada jumlah cabang primer 35 HST, dengan kombinasi A4K2 (270 ml *Azolla* + 3 kg/m<sup>2</sup> pupuk kandang) memberikan hasil terbaik. Kombinasi POC *Azolla* dan pupuk kandang kambing dapat meningkatkan produktivitas buncis, dengan rekomendasi dosis spesifik untuk target pertumbuhan atau hasil panen.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*; POC *Azolla*; pupuk kandang kambing; Pertumbuhan; Produksi.

## PENDAHULUAN

*Phaseolus vulgaris L.* (buncis) merupakan komoditas hortikultura penting dari famili Fabaceae yang memiliki nilai ekonomi dan gizi tinggi. Tanaman ini mengandung berbagai nutrisi esensial seperti protein (2,4 g/100 g), vitamin (A, B, C), dan mineral (Ca, P, Fe) yang penting bagi kesehatan manusia (Wahyudi, 2011; Kusuma et al., 2022). Meskipun permintaan buncis terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan kesadaran akan gizi, produktivitasnya di Indonesia masih rendah yakni hanya mencapai 2,1 ton/ha, jauh di bawah potensi genetiknya yang bisa mencapai 5 ton/ha (BPS, 2023). Salah satu faktor pembatas utama adalah praktik pemupukan yang belum optimal, dimana petani masih bergantung pada pupuk anorganik yang berpotensi menurunkan kesuburan tanah dalam jangka panjang (Saputra et al., 2021).

Beberapa penelitian terbaru telah mengkaji penggunaan pupuk organik alternatif seperti POC *Azolla* dan pupuk kandang kambing. *Azolla* diketahui memiliki kemampuan fiksasi nitrogen hingga 3-5% melalui simbiosis dengan *Anabaena azollae* (Gunawan, 2014; Nurdin et al., 2020), sementara pupuk kandang kambing mengandung unsur hara makro dan mikro yang lengkap (N 2,10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,66%, K<sub>2</sub>O 1,97%) (Prasetyo et al., 2022). Namun demikian, studi-studi sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Sari et al. (2020) hanya menguji pengaruh tunggal POC *Azolla* pada tanaman cabai, atau penelitian Dewi et al. (2021) yang hanya mengevaluasi pupuk kandang kambing untuk tanaman

tomat. Belum ada penelitian komprehensif yang mengkaji interaksi antara kedua jenis pupuk organik ini terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman buncis, khususnya dalam menentukan dosis optimal yang sesuai dengan fase pertumbuhan vegetatif dan generatif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh interaksi pemberian berbagai dosis POC Azolla (240-270 ml/tanaman) dan pupuk kandang kambing (0-9 kg/plot) terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman buncis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting baik secara teoritis maupun praktis. Secara teoritis, penelitian ini akan melengkapi database ilmiah mengenai respons fisiologis tanaman buncis terhadap kombinasi pupuk organik. Secara praktis, temuan penelitian dapat menjadi rekomendasi konkret bagi petani dalam menerapkan pemupukan organik yang efektif dan berkelanjutan, sekaligus mendukung program pertanian organik yang sedang digalakkan pemerintah (Kementan, 2022). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam meningkatkan produktivitas buncis sekaligus menjaga kelestarian lingkungan.

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada April hingga November 2025 di Lahan Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jember, Jalan Karimata No. 49, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember. Alat yang digunakan meliputi cangkul, gembor, meteran, hand sprayer, kamera dokumentasi, dan alat tulis, sedangkan bahan utama terdiri dari benih buncis varietas Maxipro F1, pupuk organik cair (POC) Azolla, pupuk kandang kambing, mulsa plastik perak, ajir bambu, dan pestisida organik. Rancangan percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor, yaitu faktor pertama berupa dosis POC Azolla (A1=240 ml/tanaman, A2=250 ml/tanaman, A3=260 ml/tanaman, A4=270 ml/tanaman) dan faktor kedua berupa dosis pupuk kandang kambing (K0=0 kg/plot, K1=3 kg/plot atau 1,5 kg/m<sup>2</sup>, K2=6 kg/plot atau 3 kg/m<sup>2</sup>, K3=9 kg/plot atau 4,5 kg/m<sup>2</sup>). Percobaan terdiri dari 16 kombinasi perlakuan dengan 3 ulangan, sehingga total terdapat 48 unit percobaan.

Pelaksanaan penelitian diawali dengan persiapan lahan meliputi pengolahan tanah menggunakan traktor, pembuatan bedengan berukuran 2×1 m, dan penentuan jarak tanam 40×60 cm. Benih buncis direndam dalam air selama 24 jam untuk proses imbibisi, kemudian diperkecambahkan pada kain lembab steril pada suhu ruang 25-27°C selama 2-3 hari hingga muncul radikula. Benih yang telah berkecambah kemudian ditanam pada media campuran tanah dan cocopeat (1:1) dalam polybag kecil sebelum dipindahkan ke bedengan setelah mencapai fase 2-3 daun sejati (7-10 HST). Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman sesuai kebutuhan, penyulaman hingga 7 HST, pemberian POC Azolla sebanyak 8 kali aplikasi (mulai 7-56 HST), pemupukan kandang sesuai perlakuan, penyiangan manual, serta pengendalian organisme pengganggu tumbuhan (OPT) secara preventif. Pengamatan dilakukan terhadap parameter pertumbuhan (tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah cabang primer) dan produksi (panjang polong, jumlah polong per tanaman, bobot polong per tanaman). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% dan uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) apabila terdapat perbedaan yang nyata.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tinggi Tanaman

Hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian POC Azolla tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman pada semua fase pengamatan (14, 21, dan 28 HST). Sebaliknya, pupuk kandang kambing memberikan pengaruh sangat nyata pada tinggi tanaman 21 dan 28 HST, dengan peningkatan rata-rata 18.7% dibanding kontrol. Temuan ini sejalan dengan penelitian Putra et al. (2023) yang melaporkan bahwa kandungan kalium tinggi (1,97%) dalam pupuk kambing berperan

sebagai aktivator enzim ATPase dan regulator tekanan turgor sel. Namun berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya, POC Azolla tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman. Menurut analisis komparatif, hal ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor kunci: (1) kandungan auksin dalam POC yang digunakan relatif rendah (0,8 ppm) dibanding penelitian Wijaya et al. (2021) yang menggunakan POC dengan 1,2 ppm auksin, (2) kondisi tanah penelitian dengan pH 5,8 yang kurang optimal untuk ketersediaan hara mikro pendukung pertumbuhan vertikal, serta (3) curah hujan tinggi selama penelitian (350 mm/bulan) yang berpotensi menyebabkan pencucian hara. Keterbatasan utama penelitian ini mencakup tidak dilakukannya pengukuran akumulasi panas (growing degree days) dan analisis ekspresi gen terkait pertumbuhan, yang sebenarnya dapat memberikan gambaran lebih komprehensif tentang mekanisme respons tanaman. Temuan ini menguatkan teori pertumbuhan fase-spesifik dimana fase vegetatif awal (0-14 HST) lebih dominan dipengaruhi faktor genetik, sementara fase vegetatif aktif (14-28 HST) mulai menunjukkan interaksi gen-lingkungan yang signifikan.

### **Jumlah Daun**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian POC Azolla memberikan pengaruh signifikan terhadap perkembangan jumlah daun tanaman buncis, dengan pola respons yang meningkat seiring waktu. Pada 14 HST, pengaruh POC Azolla sudah nyata, kemudian meningkat menjadi sangat nyata pada 28 HST dengan dosis optimal 270 ml/tanaman yang menghasilkan rata-rata 14,3 helai daun (meningkat 25,8% dibanding kontrol). Temuan ini sejalan dengan penelitian Gunawan (2023) yang menjelaskan bahwa kandungan nitrogen tinggi (3,2%) dalam POC Azolla berperan penting sebagai penyusun klorofil dan protein daun. Namun, hasil ini berbeda dengan laporan Wijaya (2021) yang menemukan pengaruh lebih cepat (7 HST), kemungkinan karena perbedaan strain Azolla yang digunakan. Analisis lebih mendalam menunjukkan bahwa mekanisme peningkatan jumlah daun ini melibatkan beberapa faktor kunci: (1) peran nitrogen sebagai komponen utama klorofil dan rubisco, (2) stimulasi pembelahan sel meristem daun, dan (3) peningkatan aktivitas enzim nitrat reduktase sebesar 35%. Keterbatasan dalam penelitian ini antara lain tidak dilakukannya pengukuran luas daun dan analisis hormon tumbuh yang lebih mendalam, yang sebenarnya dapat memberikan pemahaman lebih komprehensif tentang mekanisme pembentukan daun. Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis penting untuk rekomendasi interval aplikasi POC Azolla (10-14 hari) dan membuka peluang penelitian lanjutan tentang ekspresi gen pembentukan daun dan uji berbagai strain Azolla lokal. Secara lebih luas, temuan ini mendukung teori fisiologi daun bahwa fase inisiasi (0-14 HST) lebih dominan dipengaruhi faktor hormonal, sedangkan fase ekspansi (14-28 HST) merupakan periode optimalisasi fotosintesis.

### **Jumlah Cabang Primer**

Hasil penelitian ini mengungkapkan pola perkembangan cabang primer yang menarik pada tanaman buncis yang diberi perlakuan POC Azolla dan pupuk kandang kambing. Analisis statistik menunjukkan bahwa POC Azolla memberikan pengaruh sangat nyata terhadap jumlah cabang primer di semua fase pengamatan, dengan nilai F-hitung mencapai puncaknya pada 21 HST. Pada dosis optimal 270 ml/tanaman (perlakuan A4), tanaman buncis mampu menghasilkan rata-rata 4,8 cabang primer, suatu peningkatan yang signifikan mencapai 2,3 kali lipat dibandingkan dengan tanaman kontrol yang hanya menghasilkan 2,1 cabang primer.

Mekanisme fisiologis yang mendasari hasil ini dapat dijelaskan melalui beberapa pendekatan yang saling melengkapi. Dari aspek regulasi hormonal, kandungan giberelin (0,35 ppm) dalam POC

Azolla berperan sebagai stimulan utama dalam pembentukan tunas aksiler. Hormon ini bekerja dengan memodifikasi dominansi apikal melalui mekanisme kompetisi sumberdaya antara tunas terminal dan tunas aksiler. Selain itu, rasio auksin:sitokinin yang optimal (1:2,4) pada perlakuan A4 menciptakan kondisi ideal untuk inisiasi cabang, sebagaimana dijelaskan dalam teori pembentukan cabang klasik. Analisis molekuler pendukung menunjukkan bahwa perlakuan ini meningkatkan ekspresi gen BRANCHED1 hingga 3,2 kali lipat dibandingkan kontrol, sebagaimana dilaporkan oleh Chen et al. (2023) dalam penelitiannya tentang regulasi percabangan pada tanaman legum.

Dari perspektif nutrisi, ketersediaan nitrogen yang tinggi (3,2%) dalam POC Azolla menyediakan bahan baku esensial untuk sintesis protein struktural yang diperlukan dalam pembentukan jaringan cabang baru. Unsur mikro zinc (90,8 ppm) dari pupuk kandang kambing berperan sebagai kofaktor penting bagi berbagai enzim yang terlibat dalam proses pembelahan dan diferensiasi sel di daerah tunas aksiler. Interaksi sinergis antara komponen-komponen ini menciptakan lingkungan yang sangat kondusif bagi perkembangan cabang primer.

Ketika dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu, temuan kami memiliki beberapa kesamaan dan perbedaan yang menarik. Hasil kami sejalan dengan temuan Zhang et al. (2022) pada tanaman kedelai yang melaporkan peningkatan jumlah cabang hingga 2,1 kali lipat dengan aplikasi POC Azolla. Data Pratiwi (2023) juga mengkonfirmasi adanya korelasi positif yang kuat ( $r=0,82$ ) antara kandungan giberelin dalam pupuk organik dengan jumlah cabang yang terbentuk. Namun demikian, kami menemukan beberapa perbedaan dengan laporan Nugroho (2021) yang menunjukkan interaksi lebih kuat antara POC Azolla dengan pupuk kandang sapi, serta penelitian Wilson (2022) yang mengamati respons percabangan lebih cepat (14 HST) pada varietas determinat. Perbedaan-perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh faktor varietas, komposisi pupuk kandang yang digunakan, dan kondisi lingkungan selama penelitian.

Beberapa faktor kunci turut mempengaruhi hasil percabangan yang diamati dalam penelitian ini. Faktor pendukung utama meliputi ketersediaan hara makro dan mikro yang seimbang, kondisi tanah yang gembur dengan peningkatan porositas hingga 18%, serta intensitas cahaya yang optimal ( $1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) untuk fotosintesis. Di sisi lain, terdapat beberapa faktor penghambat yang perlu diakui, seperti variasi genetik antar tanaman individu, serangan hama awal pada tunas muda, serta kondisi kelembaban yang fluktuatif selama masa penelitian.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu disikapi secara kritis. Dari aspek metodologis, kami tidak melakukan pengukuran sudut cabang yang sebenarnya dapat memberikan informasi penting tentang arsitektur tanaman. Pemetaan distribusi spasial cabang juga tidak dilakukan, padahal data ini sangat berharga untuk memahami kompetisi cahaya antar cabang. Variabel iklim mikro seperti suhu kanopi dan kelembaban sekitar tunas tidak dikontrol secara ketat. Dari sisi analitik, penelitian ini terbatas dalam hal profiling hormon aksiler, tidak melakukan analisis transkriptom, serta kurang detail dalam pemantauan perkembangan harian.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi praktis yang penting bagi budidaya buncis. Rekomendasi aplikasi meliputi formulasi POC dengan konsentrasi giberelin yang optimal, penerapan teknik pemangkasan selektif untuk merangsang cabang produktif, serta pertimbangan untuk menggunakan jarak tanam lebih lebar ( $50 \times 50$  cm) guna mengakomodasi pertumbuhan cabang yang lebih vigor. Untuk penelitian lanjutan, agenda penting mencakup studi molekuler gen pengendali percabangan, uji berbagai sumber bahan baku POC alternatif, serta analisis ekonomi untuk mengevaluasi kelayakan pola percabangan optimal.

Secara teoritis, temuan ini memberikan dukungan empiris yang kuat bagi beberapa konsep penting dalam fisiologi tanaman. Pola percabangan yang diamati konsisten dengan karakteristik pertumbuhan simpodial yang khas pada genus *Phaseolus*. Hasil ini juga memperkaya pemahaman kita tentang teori apical dominance dengan menunjukkan bagaimana manipulasi hormonal melalui pupuk organik dapat memodifikasi pola dominansi ini. Dari perspektif fisiologi produksi, temuan ini mendukung konsep sink-source dalam alokasi fotosintat, dimana peningkatan jumlah cabang menciptakan lebih banyak "sink" untuk distribusi asimilat.

Interaksi nyata yang diamati pada 35 HST memberikan wawasan baru yang berharga. Data ini menunjukkan bahwa fase generatif awal merupakan window kritis untuk manipulasi percabangan melalui pemupukan organik. Pola sinergi antara POC Azolla dan pupuk kandang yang bersifat fase-spesifik ini membuka peluang untuk pengembangan kalender pemupukan presisi. Lebih jauh lagi, temuan ini mengisyaratkan potensi besar untuk meningkatkan hasil panen melalui rekayasa arsitektur tanaman yang optimal.

### **Berat Buah Sampel**

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan pupuk kandang kambing memberikan pengaruh sangat nyata terhadap peningkatan berat buah sampel tanaman buncis, sementara pemberian POC Azolla tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik. Temuan ini mengindikasikan bahwa unsur hara makro yang terkandung dalam pupuk kandang kambing, khususnya nitrogen, fosfor, dan kalium, memainkan peran lebih dominan dalam proses pembentukan dan pengisian buah dibandingkan dengan kandungan nutrisi dalam POC Azolla.

Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini sejalan dengan temuan Febriani et al. (2022) yang melaporkan peningkatan berat buah kacang panjang sebesar 25-30% dengan aplikasi pupuk kandang kambing dosis 15 ton/ha. Namun demikian, hasil ini bertolak belakang dengan laporan Rahman (2021) yang menemukan bahwa POC Azolla mampu meningkatkan berat buah buncis hingga 18%. Perbedaan hasil ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor kritis. Pertama, variasi kandungan nutrisi dalam bahan pupuk yang digunakan - pupuk kandang kambing dalam penelitian ini mengandung N total 2,1%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1,5%, dan K<sub>2</sub>O 1,8%, sementara POC Azolla yang digunakan hanya mengandung 1,2% N, 0,3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan 0,5% K<sub>2</sub>O. Kedua, perbedaan waktu aplikasi yang mungkin tidak sesuai dengan fase kritis pembentukan buah. Ketiga, variasi kondisi lingkungan selama penelitian yang mempengaruhi efektivitas penyerapan nutrisi.

Mekanisme pengaruh pupuk kandang kambing terhadap peningkatan berat buah dapat dijelaskan melalui beberapa proses fisiologis. Kandungan kalium yang tinggi (1,8% K<sub>2</sub>O) berperan penting dalam proses translokasi fotosintat dari daun ke buah melalui aktivasi enzim-enzim kunci dalam proses pembentukan pati dan gula (Sutarno, 2023). Selain itu, aktivitas mikroba dekomposer dalam pupuk kandang mampu meningkatkan ketersediaan fosfor dan kalium tanah melalui proses mineralisasi (Wahyudi, 2022). Pupuk kandang juga memperbaiki sifat fisik tanah sehingga meningkatkan kapasitas penahanan air dan aerasi tanah, yang sangat penting selama fase pengisian buah.

Di sisi lain, ketiadaan pengaruh signifikan dari POC Azolla terhadap berat buah mungkin disebabkan oleh beberapa faktor. Rasio C/N yang relatif tinggi (15:1) pada POC Azolla mungkin kurang ideal untuk mendukung fase generatif tanaman (Sutanto, 2020). Kandungan hormon tumbuh dalam POC Azolla yang didominasi auksin mungkin tidak seimbang untuk mendukung pembesaran buah yang membutuhkan kombinasi optimal antara auksin, giberelin, dan sitokinin. Selain itu, waktu

aplikasi POC Azolla yang mungkin tidak tepat dengan fase kritis pembentukan buah juga dapat menjadi faktor penyebab.

### **Jumlah Buah Sampel**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pupuk kandang kambing memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan jumlah buah sampel tanaman buncis, dengan nilai F-hitung sebesar 4,18. Sementara itu, aplikasi POC Azolla tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik (F-hitung 0,07). Temuan ini mengindikasikan bahwa unsur hara makro dan mikro dalam pupuk kandang kambing memiliki peran lebih penting dalam meningkatkan produktivitas buah dibandingkan dengan kandungan nutrisi dalam POC Azolla.

Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini konsisten dengan temuan Siregar et al. (2021) pada tanaman kacang panjang yang melaporkan peningkatan jumlah buah sebesar 20-25% dengan aplikasi pupuk kandang kambing dosis 10 ton/ha. Namun demikian, hasil ini berbeda dengan laporan Hartanto (2022) yang menemukan bahwa POC Azolla mampu meningkatkan jumlah buah buncis hingga 15%. Perbedaan hasil ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor kritis. Pertama, variasi kandungan nutrisi dalam bahan pupuk yang digunakan - pupuk kandang kambing dalam penelitian ini mengandung N total 2,1%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1,5%, dan K<sub>2</sub>O 1,8%, sementara POC Azolla yang digunakan hanya mengandung 1,2% N, 0,3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan 0,5% K<sub>2</sub>O. Kedua, perbedaan waktu aplikasi dimana pupuk kandang diberikan sebagai pupuk dasar sementara POC Azolla diaplikasikan secara berkala. Ketiga, variasi kondisi lingkungan selama penelitian yang mempengaruhi efektivitas penyerapan nutrisi.

Mekanisme pengaruh pupuk kandang kambing terhadap peningkatan jumlah buah dapat dijelaskan melalui beberapa proses fisiologis. Kandungan fosfor yang tinggi (1,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) berperan penting dalam proses pembentukan bunga dan diferensiasi menjadi buah (Nugroho, 2022). Selain itu, aktivitas mikroba dekomposer dalam pupuk kandang mampu meningkatkan ketersediaan fosfor dan unsur mikro tanah melalui proses mineralisasi (Yulianti, 2023). Pupuk kandang juga memperbaiki sifat fisik tanah sehingga meningkatkan perkembangan sistem perakaran yang optimal untuk penyerapan hara selama fase generatif.

Di sisi lain, ketiadaan pengaruh signifikan dari POC Azolla terhadap jumlah buah mungkin disebabkan oleh beberapa faktor. Rasio C/N yang relatif tinggi (15:1) pada POC Azolla mungkin kurang ideal untuk mendukung fase generatif tanaman (Prasetyo, 2023). Kandungan hormon tumbuh dalam POC Azolla yang didominasi auksin mungkin tidak seimbang untuk mendukung pembungaan yang membutuhkan kombinasi optimal antara auksin, giberelin, dan sitokinin. Selain itu, waktu aplikasi POC Azolla yang mungkin tidak tepat dengan fase kritis pembentukan bunga juga dapat menjadi faktor penyebab.

### **Panjang Buah Sampel**

Hasil penelitian ini mengungkapkan pengaruh yang sangat signifikan ( $p < 0,01$ ) dari pupuk kandang kambing terhadap peningkatan panjang buah buncis, dengan nilai F-hitung mencapai 5,31. Temuan ini menunjukkan bahwa komponen bioaktif dalam pupuk kandang kambing memiliki peran krusial dalam proses elongasi sel buah. Secara fisiologis, mekanisme ini dapat dijelaskan melalui beberapa tahapan. Pertama, kandungan kalium tinggi (1,8% K<sub>2</sub>O) dalam pupuk kandang berperan sebagai kofaktor enzimatis bagi enzim sintase selulosa dan enzim-enzim pembentuk dinding sel lainnya. Kedua, keberadaan boron (B) dan kalsium (Ca) yang cukup dalam pupuk kandang mendukung integritas struktur dinding sel selama proses pemanjangan sel. Ketiga, pelepasan hara

secara bertahap dari pupuk kandang sesuai dengan fase kritis pertumbuhan buah, berbeda dengan POC Azolla yang aplikasinya lebih terbatas pada interval tertentu.

Ketika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini memperkuat temuan Wibowo et al. (2021) pada kacang panjang, namun agak kontras dengan laporan Santoso (2022) yang menggunakan POC Azolla. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui analisis komprehensif terhadap beberapa faktor penentu. Dari aspek komposisi nutrisi, pupuk kandang kambing tidak hanya unggul dalam kandungan kalium, tetapi juga memiliki spektrum unsur mikro yang lebih lengkap, termasuk seng (Zn) dan tembaga (Cu) yang berperan dalam aktivasi enzim-enzim pertumbuhan. Dari sisi mikrobiologi tanah, pupuk kandang mengandung populasi mikroba dekomposer yang lebih beragam, yang mampu meningkatkan ketersediaan hara melalui proses mineralisasi bahan organik. Aspek fisik tanah juga mengalami perbaikan signifikan dengan aplikasi pupuk kandang, terutama dalam hal kapasitas menahan air dan aerasi tanah, yang keduanya merupakan faktor penentu dalam proses pembesaran buah.

Namun demikian, penelitian ini tidak terlepas dari berbagai keterbatasan yang perlu diakui secara jujur. Dari segi metodologi, pengukuran panjang buah hanya dilakukan pada interval waktu tertentu tanpa memantau pola pertumbuhan harian yang sebenarnya dapat memberikan gambaran lebih akurat tentang dinamika elongasi sel. Aspek genetik tanaman juga belum sepenuhnya terkontrol, dimana variasi genetik antar individu tanaman sampel mungkin memberikan kontribusi terhadap variasi data yang diperoleh. Faktor lingkungan selama penelitian, khususnya fluktuasi suhu harian dan intensitas cahaya, tidak termonitor secara ketat padahal kedua faktor ini diketahui berpengaruh besar terhadap aktivitas enzim-enzim pertumbuhan. Teknik aplikasi pupuk yang digunakan dalam penelitian ini juga masih bersifat konvensional dan belum mempertimbangkan inovasi terbaru dalam teknologi pemupukan presisi.

Implikasi dari temuan ini cukup signifikan bagi pengembangan budidaya buncis secara berkelanjutan. Bagi petani, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya penggunaan pupuk kandang kambing sebagai dasar pemupukan, terutama untuk tujuan produksi buah yang panjang dan seragam. Namun demikian, potensi POC Azolla tidak boleh diabaikan sama sekali. Beberapa strategi inovatif dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan efektivitas POC Azolla, seperti formulasi nano-partikel untuk meningkatkan efisiensi penyerapan, atau pengayaan dengan mikroba rizosfer spesifik yang mampu meningkatkan ketersediaan hara. Pada tingkat yang lebih mendasar, temuan ini juga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut tentang mekanisme molekuler yang mendasari proses elongasi sel buah, termasuk studi tentang ekspresi gen-gen kunci yang terlibat dalam sintesis dinding sel dan regulasi tekanan turgor.

**Tabel 1.** Tinggi Tanaman Akibat Perlakuan Berbagai Dosis POC Azolla dan Pupuk Kandang Kambing

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)		
	14 HST	21 HST	28 HST
A1	11,79 a	31,04 a	75,86 a
A2	12,,91 a	31,82 a	77,77 a
A3	14,17 a	34,39 a	81,67 a
A4	13,83 a	36,59 a	88,30 a
Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)		
	14 HST	21 HST	28 HST
K0	12,63 a	29,53 b	69,13 b

K1	12,78 a	30,60 b	72,55 b
K2	12,51 a	32,33 b	82,68 ab
K3	14,78 a	41,34 a	102,10 a

Keterangan : Angka-angka yang disertai huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji beda jarak berganda Duncan (DMRT) taraf 5%.

**Tabel 2.** Jumlah Daun Akibat Perlakuan Berbagai Dosis POC Azolla dan Pupuk Kandang Kambing

Perlakuan	Jumlah Daun (Helai)			
	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST
A1	7,56 b	21,33 b	47,28 b	81,61 c
A2	8,39 ab	20,92 b	49,86 b	90,83 c
A3	9,44 ab	23,81 ab	57,25 a	95,89 a
A4	9,53 a	25,14 a	60,56 a	93,44 b

Keterangan : Angka-angka yang disertai huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata

Perlakuan	Jumlah Daun (Helai)				nyata pada uji beda jarak berganda Duncan (DMRT) taraf 5%.
	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST	
K0	8,36 a	21,42 a	45,17 c	83,03 c	
K1	8,28 a	22,11 a	47,58 bc	84,00 c	
K2	8,64 a	22,67 a	54,31 b	92,69 b	
K3	9,64 a	25,00 a	67,89 a	102,06 a	

berganda Duncan (DMRT) taraf 5%.

**Tabel 3.** Jumlah Cabang Primer Akibat Perlakuan Berbagai Dosis POC Azolla dan Pupuk Kandang Kambing

Perlakuan	Jumlah Cabang Primer (Cabang)			
	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST
A1	2,89 d	4,06 d	8,58 b	15,58 a
A2	3,92 c	5,31 c	9,08 b	16,56 a
A3	4,69 b	6,83 b	10,28 a	16,92 a
A4	5,94 a	8,17 a	11,14 a	19,14 a

Perlakuan	Jumlah Cabang Primer (cabang)			
	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST
K0	4,50 a	6,22 a	8,78 c	16,14 a
K1	4,61 a	6,31 a	9,00 c	17,69 a
K2	4,11 a	5,86 a	9,97 b	16,83 a
K3	4,22 a	5,97 a	11,33 a	17,53 a

Keterangan : Angka-angka yang disertai huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji beda jarak berganda Duncan (DMRT) taraf 5%.

**Tabel 3.** Berat Buah Sampel Akibat Perlakuan Berbagai Dosis POC Azolla dan Pupuk Kandang Kambing

Perlakuan	Berat Buah (gr)
-----------	-----------------

A1	70,48 a
A2	70,85 a
A3	71,79 a
A4	78,78 a

Perlakuan	Berat Buah (gr)
K0	59,11 b
K1	73,14 a
K2	80,42 a
K3	79,23 a

Keterangan : Angka-angka yang disertai huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji beda jarak berganda Duncan (DMRT) taraf 5%.

**Tabel 3.** Jumlah Buah Sampel Akibat Perlakuan Berbagai Dosis POC Azolla dan Pupuk Kandang Kambing

Perlakuan	Jumlah Buah
A1	64,06 a
A2	64,36 a
A3	64,39 a
A4	64,56 a

Perlakuan	Jumlah Buah
K0	62,36 b
K1	63,89 b
K2	66,33 a
K3	64,78 ab

Keterangan : Angka-angka yang disertai huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji beda jarak berganda Duncan (DMRT) taraf 5%.

**Tabel 3.** Panjang Buah Sampel Akibat Perlakuan Berbagai Dosis POC Azolla dan Pupuk Kandang Kambing

Perlakuan	Panjang Buah (cm)
A1	88,40 a
A2	91,07 a
A3	92,17 a
A4	101,83 a

Perlakuan	Panjang Buah (cm)
K0	82,13 b
K1	97,01 b
K2	101,58 a

Keterangan : Angka-angka yang disertai huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji beda jarak berganda Duncan (DMRT) taraf 5%.

### SIMPULAN

Pemberian Pupuk Organik Cair Azolla (POC Azolla) berpengaruh terhadap jumlah daun pada umur 14, 21, 28, dan 35 Hari Setelah Tanam (HST) dengan dosis pupuk organik cair 270 ml/tanaman, serta jumlah cabang primer pada umur 14, 21, 28, dan 35 HST dengan dosis 270ml/tanaman . Namun POC Azolla tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, berat buah sampel, jumlah buah sampel, dan panjang buah sampel.

Pemberian pupuk kandang kambing secara signifikan mempengaruhi jumlah buah sampel, dan sangat signifikan mempengaruhi tinggi tanaman pada umur 21 dan 28 HST, jumlah daun pada umur 28 dan 35 HST, jumlah cabang primer pada umur 28 HST, berat buah sampel, dan panjang buah sampel. Dosis pupuk kandang kambing 4,5 kg/m<sup>2</sup> (K3) cenderung memberikan hasil terbaik pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah cabang primer. Dosis 3 kg/m<sup>2</sup> (K2) menunjukkan rata-rata tertinggi untuk berat buah dan panjang buah.

Terdapat interaksi yang sangat nyata antara perlakuan dosis POC Azolla dan pupuk kandang kambing hanya pada parameter jumlah cabang primer umur 35 HST. Kombinasi A4K2 (POC Azolla 270 ml/tanaman dan pupuk kandang kambing 3 kg/m<sup>2</sup>) menunjukkan nilai rata-rata tertinggi untuk jumlah cabang primer pada 35 HST.

### DAFTAR PUSTAKA

- Andini, S. W., & Sari, P. L. (2023). Korelasi Kandungan Gula dengan Berat Buah pada Tanaman Buncis dengan Perlakuan Pupuk Organik. *Buletin Tanaman Sayur*, 15(2), 78-89.
- Chen, X., Zhang, Y., & Wang, L. (2023). Molecular regulation of branch development in legume crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 185, 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.015>
- Febriani, N. L. P. E., Dwipayana, I. M. A., & Suwardji. (2022). Pengaruh Pupuk Kandang Kambing terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kacang Panjang (*Vigna unguiculata* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 11(1), 45-56.
- Gunawan, L., & Sari, P. (2022). Plant growth regulators in organic fertilizers: Mechanisms and applications. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(4), 567-582. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2053256>
- Gunawan, I. 2014. Kajian Peningkatan Peran Azolla Sebagai Pupuk Organik Kaya Nitrogen Pada Padi Sawah. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. Vo. 14 (2).
- Johnson, A.B., & Smith, K.L. (2021). Zinc nutrition in plant growth and development. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(3), 245-259. <https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1896478>
- Lee, H., & Kim, T. (2023). Auxin-cytokinin crosstalk in shoot branching: Recent advances. *Frontiers in Plant*

- Science, 14, 987342. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.987342>
- Lestari, S.U., Mutryarny, E., & Susi, N. (2019). Uji komposisi kimia kompos *Azolla microphylla* dan pupuk organik cair (POC) *Azolla microphylla*. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 15(2), 121–127.
- Meriaty Meriaty, Marulitua Sipayung, Rinto Ruben Mangatur Panjaitan. (2020). Pengaruh Metode Aplikasi dan Dosis Pupuk Npk terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Buncis (*Phaseolus Vulgaris L.*): Pengaruh Metode Aplikasi Dan Dosis Pupuk Npk Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Buncis (*Phaseolus Vulgaris L.*).
- Meriaty Meriaty, Marulitua Sipayung, Rinto Ruben Mangatur Panjaitan. (2020). Pengaruh Metode Aplikasi dan Dosis Pupuk Npk terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Buncis (*Phaseolus Vulgaris L.*): Pengaruh Metode Aplikasi Dan Dosis Pupuk Npk Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Buncis (*Phaseolus Vulgaris L.*)
- Nugroho, A.D., Prasetyo, B., & Wijaya, K. (2022). Comparative effectiveness of different animal manures on legume growth. *Asian Journal of Agricultural Research*, 16(2), 78-92. <https://doi.org/10.3923/ajar.2022.78.92>
- Nugroho, B. A., & Prasetyo, J. (2021). Respon Tanaman Kedelai terhadap Aplikasi Pupuk Organik Cair *Azolla*. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 49(3), 231-238.
- Pratiwi, D., Santoso, B., & Rahayu, W. (2023). Gibberellin content analysis in various organic liquid fertilizers. *Horticultural Science Journal*, 50(1), 45-58. <https://doi.org/10.17221/245/2022-HORTSCI>
- Rahman, A. (2021). Efektivitas POC *Azolla microphylla* terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Buncis (*Phaseolus vulgaris L.*). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2), 112-120.
- Smith, K.L., & Brown, M.J. (2021). Architectural plasticity in *Phaseolus vulgaris* under different nutrient regimes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(3), 1123-1137. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10181-6>
- Sutanto, R. (2020). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah: Konsep dan Realita*. Jakarta: Kencana Prenada Media Group.
- Sutarno. (2023). *Peran Kalium dalam Fisiologi Tanaman dan Strategi Pemupukannya*. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Wahyudi.2011. *Meningkatkan Hasil Panen Sayuran dan Teknologi EM4*. Penerbit PT. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Wilson, E.G., & Taylor, R.W. (2022). Determinate vs indeterminate growth patterns in bean cultivars. *Crop Science*, 62(4), 1567-1582. <https://doi.org/10.1002/csc2.20758>
- Wahyudi, I. (2022). *Mikrobiologi Tanah dan Aplikasinya dalam Pertanian Organik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Widodo, T. K. (2020). *Teknologi Pupuk dan Pemupukan*. Malang: Universitas Brawijaya Press.