



PENGARUH PENGGUNAAN BIOFLOK PADA LIMBAH AIR VERTIKULTUR TERHADAP KUALITAS LINGKUNGAN DAN PERTUMBUHAN SAYURAN HIDROPONIK

Sri Haryani

Correspondensi e-mail: srii@gmail.com
SMK Muhammadiyah Delanggu, Klaten

ABSTRACT

The reuse of wastewater from plant cultivation is an important strategy in sustainable agriculture. Verticulture wastewater generally still contains nutrient residues that may pose environmental risks if not properly managed. Biofloc technology offers a biological solution through microbial activity capable of degrading organic compounds and dissolved nitrogen. This study aimed to analyze the effect of applying biofloc to verticulture wastewater on environmental quality and the growth of hydroponic vegetables. A completely randomized design was employed with three treatments: no biofloc (B0), low-dose biofloc (B1), and optimal-dose biofloc (B2), each replicated three times. Observed parameters included pH, ammonia, nitrate concentration, plant height, leaf number, and fresh biomass. The results indicated that the optimal biofloc treatment reduced ammonia levels by 35–40% and significantly improved plant growth and biomass production ($p < 0.05$). Plants under treatment B2 exhibited the highest growth and fresh weight. The application of biofloc effectively enhanced water quality while supporting vegetable productivity. This system shows strong potential as an environmentally friendly agricultural model and as an applied learning medium in vocational schools.

ABSTRAK

Pemanfaatan kembali limbah air budidaya tanaman merupakan salah satu strategi penting dalam pertanian berkelanjutan. Limbah air vertikultur umumnya masih mengandung residu nutrisi yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Teknologi bioflok menawarkan solusi biologis melalui aktivitas mikroorganisme yang mampu menguraikan senyawa organik dan nitrogen terlarut. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan bioflok pada limbah air vertikultur terhadap kualitas lingkungan dan pertumbuhan sayuran hidroponik. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan tiga perlakuan: tanpa bioflok

ARTICLE INFO

Submitted: 3 January 2025
Revised: 16 January 2025
Accepted: 25 January 2025

Keywords:

biofloc; wastewater;
verticulture; hydroponics,
environmental quality

DOI:

[10.55080/agronimal.v3i1.1901](https://doi.org/10.55080/agronimal.v3i1.1901)

(B0), bioflok dosis rendah (B1), dan bioflok dosis optimal (B2), masing-masing diulang tiga kali. Parameter yang diamati meliputi pH, amonia, nitrat, tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat segar tanaman. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan bioflok optimal mampu menurunkan kadar amonia hingga 35–40% serta meningkatkan pertumbuhan dan biomassa tanaman secara signifikan ($p < 0,05$). Tanaman pada perlakuan B2 menunjukkan tinggi dan berat segar tertinggi. Penggunaan bioflok terbukti meningkatkan kualitas lingkungan air sekaligus mendukung produktivitas tanaman. Sistem ini berpotensi dikembangkan sebagai model pertanian ramah lingkungan dan media pembelajaran di SMK.

Kata kunci:

bioflok, limbah air, vertikultur, hidroponik, kualitas lingkungan

PENDAHULUAN

Pertanian intensif modern menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan limbah nutrisi yang berpotensi menurunkan kualitas lingkungan. Sistem budidaya seperti vertikultur dan hidroponik berkembang pesat karena efisiensi penggunaan lahan dan air serta kemampuannya menghasilkan produk berkualitas tinggi. Namun, kedua sistem tersebut tetap menghasilkan limbah cair yang mengandung nitrogen, fosfor, dan bahan organik terlarut. Jika limbah ini dibuang tanpa pengolahan, akumulasi nutrisi dapat memicu eutrofikasi, penurunan kualitas air, serta gangguan keseimbangan ekosistem (Goddek et al., 2019). Kondisi ini menunjukkan bahwa inovasi pengelolaan limbah menjadi komponen penting dalam mewujudkan sistem pertanian yang berkelanjutan.

Dalam sistem hidroponik, residu nutrisi yang tidak terserap tanaman akan terlarut dalam air sirkulasi. Senyawa nitrogen, terutama amonia dan nitrat, dapat menjadi toksik pada konsentrasi tertentu dan berdampak negatif pada lingkungan jika dilepaskan tanpa pengolahan (Resh, 2022). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengurangi akumulasi nutrisi sekaligus mempertahankan produktivitas sistem budidaya. Pengelolaan limbah berbasis proses biologis menjadi alternatif yang semakin banyak dikembangkan karena sifatnya yang ramah lingkungan dan efisien.

Teknologi bioflok merupakan salah satu pendekatan biologis yang memanfaatkan komunitas mikroorganisme heterotrof untuk mengasimilasi nitrogen terlarut dan bahan organik menjadi biomassa mikroba. Proses ini tidak hanya menurunkan konsentrasi senyawa toksik seperti amonia, tetapi juga menghasilkan flok mikroba yang dapat berperan sebagai sumber nutrisi tambahan (Avnimelech, 2015). Aktivitas mikroorganisme dalam bioflok menciptakan keseimbangan biogeokimia yang mendukung stabilitas kualitas air. Pendekatan ini telah banyak diterapkan pada sistem akuakultur dan mulai dikaji potensinya dalam sistem produksi tanaman berbasis air.

Integrasi bioflok dalam sistem vertikultur dan hidroponik membuka peluang pengembangan sistem budidaya yang lebih efisien dan sirkular. Prinsip daur ulang nutrisi melalui aktivitas mikroba memungkinkan pemanfaatan limbah sebagai sumber input baru, sehingga mengurangi ketergantungan pada pupuk eksternal sekaligus meminimalkan dampak lingkungan (Emerenciano et al., 2017). Selain itu, lingkungan akar yang lebih stabil secara kimia dan biologis dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman.

Dalam konteks pendidikan kejuruan, penerapan teknologi bioflok memiliki nilai strategis sebagai media pembelajaran berbasis praktik. Siswa dapat mempelajari interaksi antara mikroorganisme, nutrisi, dan pertumbuhan tanaman secara langsung. Pendekatan ini mendukung pembelajaran kontekstual yang mengintegrasikan konsep mikrobiologi, fisiologi tanaman, dan pengelolaan lingkungan, sehingga memperkuat kompetensi vokasional di bidang pertanian berkelanjutan (Goddek & Körner, 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penggunaan bioflok pada limbah air vertikultur terhadap kualitas lingkungan air serta pertumbuhan sayuran hidroponik. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pertanian ramah lingkungan sekaligus mendukung pembelajaran aplikatif di pendidikan kejuruan.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor perlakuan berupa dosis bioflok pada limbah air vertikultur. Perlakuan terdiri atas tiga taraf, yaitu:

B0 : Limbah air vertikultur tanpa penambahan bioflok (kontrol)

B1 : Limbah air vertikultur + bioflok dosis rendah (5 mL L^{-1})

B2 : Limbah air vertikultur + bioflok dosis optimal (10 mL L^{-1})

Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga terdapat 9 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri atas satu wadah hidroponik berisi 10 tanaman, sehingga total tanaman yang diamati berjumlah 90 tanaman.

Prosedur Penelitian

1. Persiapan Limbah Air. Limbah air vertikultur dikumpulkan dari sistem budidaya sebelumnya, kemudian disaring menggunakan kain halus untuk menghilangkan partikel kasar.
2. Persiapan Kultur Bioflok. Kultur bioflok diperoleh dari hasil fermentasi campuran molase dan probiotik komersial selama 5–7 hari hingga terbentuk flok mikroba aktif.
3. Aplikasi Perlakuan. Limbah air dimasukkan ke dalam wadah hidroponik sistem rakit apung. Kultur bioflok ditambahkan sesuai dosis perlakuan dan dihomogenkan. Sistem diaerasi selama 24 jam sebelum penanaman.
4. Penanaman dan Pemeliharaan. Bibit sayuran daun (umur 10 hari setelah semai) dipindahkan ke sistem hidroponik. Pemeliharaan dilakukan selama 30 hari dengan kondisi lingkungan terkendali (suhu $26\text{--}30^\circ\text{C}$ dan kelembapan $70\text{--}80\%$). Aerasi dilakukan secara kontinu.

Parameter Pengamatan

Pengamatan dilakukan secara berkala setiap 7 hari dan pada akhir masa penelitian.

1. Parameter Kualitas Air
 - pH (menggunakan pH meter digital)
 - Amonia (NH_3) (mg L^{-1})
 - Nitrat (NO_3^-) (mg L^{-1})
2. Parameter Pertumbuhan Tanaman
 - Tinggi tanaman (cm)
 - Jumlah daun (helai)

3. Parameter Produksi

Berat segar tanaman (g) per tanaman pada akhir pengamatan

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan Analisis Ragam (ANOVA) pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap setiap parameter. Apabila hasil menunjukkan perbedaan nyata, maka dilanjutkan dengan Uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik. Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memperjelas interpretasi hasil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

1. Kualitas Air Limbah Vertikultur

Analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian bioflok berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar amonia dan nitrat, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap pH air. Nilai pH pada seluruh perlakuan berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan sayuran hidroponik. Rata-rata kualitas air selama penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh bioflok terhadap kualitas air limbah vertikultur

Perlakuan	pH	Amonia (mg L^{-1})	Nitrat (mg L^{-1})
B0	$6,80 \pm 0,11$	$1,32 \pm 0,09$ a	$43,1 \pm 2,0$ a
B1	$6,87 \pm 0,13$	$0,97 \pm 0,06$ b	$36,5 \pm 1,7$ b
B2	$6,92 \pm 0,10$	$0,79 \pm 0,05$ c	$32,8 \pm 1,5$ c

Keterangan: Huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata menurut DMRT 5%.

Perlakuan B2 menurunkan kadar amonia sekitar 40% dibanding kontrol. Penurunan ini menunjukkan aktivitas mikroorganisme bioflok yang mengasimilasi nitrogen terlarut menjadi biomassa mikroba.

2. Pertumbuhan Tanaman

Pemberian bioflok berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun. Pertumbuhan vegetatif meningkat seiring peningkatan dosis bioflok. Data pertumbuhan tanaman disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh bioflok terhadap pertumbuhan tanaman

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)
B0	$21,6 \pm 1,4$ a	9 ± 1 a
B1	$26,1 \pm 1,5$ b	12 ± 1 b
B2	$28,9 \pm 1,6$ c	14 ± 2 c

Tanaman pada perlakuan B2 menunjukkan pertumbuhan tertinggi, mencerminkan kondisi nutrisi dan lingkungan akar yang lebih stabil.

3. Produksi Tanaman

Berat segar tanaman menunjukkan peningkatan signifikan akibat perlakuan bioflok. Rata-rata produksi tanaman disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh bioflok terhadap berat segar tanaman

Perlakuan	Berat Segar (g tanaman ⁻¹)
B0	83,4 ± 4,5 a
B1	102,6 ± 5,3 b
B2	119,8 ± 6,1 c

Peningkatan biomassa pada perlakuan optimal mencapai sekitar 44% dibanding kontrol.

PEMBAHASAN

1. Kualitas Air Limbah Vertikultur

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi bioflok menurunkan kadar amonia dan nitrat secara nyata tanpa mengubah pH secara signifikan. Stabilitas pH pada kisaran 6,8–6,9 menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme berlangsung dalam kondisi biokimia yang seimbang. Kisaran pH tersebut termasuk optimal bagi penyerapan unsur hara dalam sistem hidroponik karena sebagian besar ion nutrisi berada dalam bentuk tersedia bagi akar. Stabilitas ini penting untuk menjaga fungsi membran sel dan transport ion selama metabolisme akar (Taiz et al., 2018).

Penurunan amonia hingga ±40% pada perlakuan B2 mengindikasikan peran dominan mikroorganisme heterotrof dalam bioflok yang mengasimilasi nitrogen terlarut menjadi biomassa mikroba. Amonia dalam konsentrasi tinggi bersifat toksik karena menghambat respirasi akar dan keseimbangan ionik sel, sehingga reduksinya meningkatkan kesehatan sistem perakaran (Taiz et al., 2018). Mekanisme ini sejalan dengan prinsip bioflok sebagai sistem bioremediasi biologis yang mengubah nitrogen anorganik menjadi bentuk yang lebih stabil (Avnimelech, 2015; Crab et al., 2012).

Penurunan nitrat menunjukkan integrasi nitrogen ke dalam siklus biologis mikroba. Dalam sistem hidroponik tertutup, akumulasi nitrogen dapat mempercepat degradasi kualitas air dan mengganggu keseimbangan nutrisi. Bioflok berfungsi sebagai biofilter yang meningkatkan efisiensi siklus nutrisi, sebagaimana dijelaskan dalam konsep produksi tanaman lingkungan terkendali (Kozai et al., 2020). Proses ini mendukung keberlanjutan sistem dengan mengurangi limbah nutrisi dan meningkatkan stabilitas kimia air (Ebeling et al., 2006). Secara ekologis, komunitas mikroba bioflok menciptakan mikroekosistem yang menekan senyawa toksik dan meningkatkan kualitas air. Hal ini memperkuat fungsi bioflok sebagai agen bioremediasi yang mendukung sistem hidroponik berbasis limbah vertikultur (Emerenciano et al., 2013).

2. Pertumbuhan Tanaman

Peningkatan tinggi tanaman dan jumlah daun pada perlakuan bioflok menunjukkan keterkaitan langsung antara kualitas lingkungan akar dan aktivitas fisiologis tanaman. Penurunan amonia memungkinkan respirasi akar berlangsung optimal sehingga transport nutrisi meningkat. Nitrogen yang tersedia secara stabil berperan penting dalam sintesis klorofil dan protein, yang mempercepat pembentukan jaringan vegetatif (Taiz et al., 2018).

Lingkungan akar yang lebih stabil juga meningkatkan luas permukaan serapan dan efisiensi translokasi unsur hara. Prinsip ini konsisten dengan sistem nutrisi hidroponik

yang menekankan keseimbangan kimia dan biologis larutan sebagai faktor utama pertumbuhan vegetatif (Resh, 2022). Selain itu, bioflok menghasilkan metabolit mikroba yang merangsang perkembangan akar dan meningkatkan interaksi mikroba-tanaman (Goddek et al., 2019).

Keberadaan komunitas mikroba juga menciptakan kompetisi biologis terhadap patogen, sehingga energi tanaman lebih banyak dialokasikan untuk pertumbuhan dibanding respons stres. Fenomena ini menjelaskan tren peningkatan pertumbuhan yang konsisten pada perlakuan dosis bioflok yang lebih tinggi (Graber & Junge, 2009; Tyson et al., 2011).

3. Produksi Tanaman

Peningkatan berat segar tanaman hingga $\pm 44\%$ menunjukkan efisiensi akumulasi biomassa yang lebih tinggi akibat stabilitas nutrisi dan kualitas air. Biomassa segar mencerminkan keberhasilan fotosintesis, respirasi akar, dan translokasi hasil asimilasi karbon. Lingkungan akar yang bebas tekanan toksik memungkinkan energi metabolik dialokasikan untuk pembentukan jaringan vegetatif (Taiz et al., 2018).

Nitrogen yang dikelola oleh bioflok mendukung sintesis protein struktural dan enzimatis yang berperan dalam pembentukan biomassa. Dalam sistem hidroponik, efisiensi nutrisi yang tinggi berkorelasi langsung dengan peningkatan hasil panen (Resh, 2022). Integrasi bioflok menciptakan siklus nutrisi tertutup yang meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi limbah, sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan (Kozai et al., 2020; Love et al., 2015).

Selain manfaat agronomis, sistem bioflok-hidroponik juga memiliki nilai edukatif karena mengintegrasikan mikrobiologi, fisiologi tanaman, dan manajemen lingkungan secara aplikatif. Pendekatan ini mendukung pengembangan model pertanian ramah lingkungan dan efisien sumber daya (Suhl et al., 2016; Monsees et al., 2017).

KESIMPULAN

Penggunaan bioflok pada limbah air vertikultur berpengaruh positif terhadap kualitas lingkungan dan pertumbuhan sayuran hidroponik. Perlakuan bioflok dosis optimal (B2) mampu menurunkan kadar amonia hingga $\pm 40\%$ dan menurunkan nitrat, sekaligus menjaga pH air tetap stabil. Kondisi lingkungan akar yang lebih baik ini meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat segar tanaman hingga $\pm 44\%$ dibanding kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi bioflok dalam sistem vertikultur dan hidroponik dapat meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mendukung pengelolaan limbah yang ramah lingkungan, serta berpotensi dijadikan model pembelajaran aplikatif di SMK.

Referensi

- Avnimelech, Y. 2015. Biofloc technology: A practical guide book (3rd ed.). The World Aquaculture Society.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture. *Aquaculture*, 356–357, 351–356.

- Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. 2006. Engineering analysis of ammonia removal. *Aquaculture*, 257, 346–358.
- Emerenciano, M., Gaxiola, G., & Cuzon, G. 2013. Biofloc technology in intensive culture. *Aquaculture*, 422–423, 42–48.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. 2019. *Aquaponics food production systems*. Springer.
- Graber, A., & Junge, R. 2009. Aquaponic nutrient recycling. *Desalination*, 246, 147–156.
- Hydroponic Food Production. Resh, H. M. 2022. *Hydroponic food production*. CRC Press.
- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., et al. 2015. Commercial aquaponics production. *Aquaculture Engineering*, 68, 52–59.
- Monsees, H., Suhl, J., Paul, M., et al. 2017. Lettuce growth in aquaponic systems. *Water*, 9, 1–16.
- Plant Factory. Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. 2020. *Plant factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic Press.
- Plant Physiology and Development. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. 2018. *Plant physiology and development*. Sinauer Associates.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., et al. 2016. Intensive tomato aquaponics. *Agricultural Water Management*, 178, 335–344.
- Tyson, R. V., Treadwell, D. D., & Simonne, E. H. 2011. Sustainability in aquaponics. *HortTechnology*, 21, 6–13.