

Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Aquaponik: Inovasi Urban Farming Menuju Ketahanan Pangan Kota Berkelanjutan

*Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Aquaponics: Urban Farming Innovation Towards Sustainable Urban Food Security*

Iskandar Umarie ^a, Oktarina ^a, M. Hazmi ^a, Bejo Suroso ^a, Wiwit Widiarti ^a, Faridatul Munawaroh ^a, Dhiaz Ari Priyandana ^a

^a Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Jember, Indonesia

INFORMASI

Riwayat naskah:

Accepted: 07 - 06 - 2025

Published: 30 - 06 - 2025

Keyword :

Aquaponik

Pakcoy

Urban Farming

Ketahanan Pangan

Berkelanjutan

Corresponding Author:

Nanik Furoidah

Universitas Islam Jember

*email:

furoidahnanik0@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh varietas pakcoy dan jenis ikan terhadap produktivitas sistem aquaponik sebagai solusi urban farming berkelanjutan. Penelitian menggunakan Rancangan Split Plot dengan rancangan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan 2 faktor: varietas pakcoy (Green, White, Shanghai) dan jenis ikan (Lele, Nila, Mas), masing-masing 3 ulangan menghasilkan 27 unit percobaan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, lebar daun, diameter batang, panjang akar, dan bobot basah tanaman. Hasil penelitian menunjukkan varietas Shanghai memberikan tinggi tanaman terbaik (22,172 cm), sementara ikan Nila menghasilkan tinggi tanaman optimal (22,793 cm). Kombinasi terbaik diperoleh pada Ikan Nila × Varietas Shanghai (25,249 cm) untuk tinggi tanaman. Untuk bobot basah, kombinasi Ikan Nila × Varietas Green menghasilkan produktivitas tertinggi (3,324 g). Sistem aquaponik terbukti efektif sebagai alternatif urban farming dengan produktivitas optimal melalui pemilihan kombinasi varietas dan jenis ikan yang tepat.

ABSTRACT

This study aims to examine the effect of pak choy varieties and fish types on the productivity of the aquaponic system as a sustainable urban farming solution. The study used a Split Plot Design with a basic design of a Completely Randomized Design (CRD) Factorial with 2 factors: pak choy varieties (Green, White, Shanghai) and fish types (Lele, Tilapia, Mas), each with 3 replications resulting in 27 experimental units. The parameters observed included plant height, number of leaves, leaf width, stem diameter, root length, and plant wet weight. The results showed that the Shanghai variety gave the best plant height (22.172 cm), while Tilapia produced the optimal plant height (22.793 cm). The best combination was obtained in Tilapia × Shanghai Variety (25.249 cm) for plant height. For wet weight, the combination of Tilapia × Green Variety produced the highest productivity (3.324 g). The aquaponic system has proven to be effective as an alternative to urban farming with optimal productivity through the selection of the right combination of varieties and types of fish.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi perkotaan yang pesat telah menciptakan tantangan besar dalam hal ketahanan pangan dan keberlanjutan. Berdasarkan data Perserikatan Bangsa-Bangsa, 68% populasi dunia diproyeksikan akan tinggal di wilayah perkotaan pada tahun 2050 (United Nations, 2018). Pertumbuhan ini menimbulkan kekhawatiran serius terkait ketersediaan pangan yang memadai di kawasan urban, mengingat semakin terbatasnya lahan pertanian produktif akibat alih fungsi lahan untuk pemukiman dan infrastruktur (Zhang, et al, 2019) Urbanisasi menjadi fenomena global yang

tidak terhindarkan di abad ke-21. Data Perserikatan Bangsa-Bangsa menunjukkan proyeksi yang mengkhawatirkan, dimana 68% populasi dunia akan terkonsentrasi di wilayah perkotaan pada tahun 2050, (United Nations, 2018). Pertumbuhan populasi urban yang masif ini memberikan tekanan besar terhadap sistem pangan perkotaan yang sudah ada. Kondisi ini diperburuk dengan fakta bahwa setiap tahunnya, ribuan hektar lahan pertanian produktif beralih fungsi menjadi kawasan pemukiman dan infrastruktur perkotaan. Menurut penelitian (Zhang, et al, 2019).

Ketahanan pangan perkotaan menjadi isu krusial yang membutuhkan solusi inovatif dan berkelanjutan. Studi yang dilakukan oleh Martinez-Salvador et al. (2020) mengungkapkan bahwa kota-kota di dunia saat ini mengonsumsi 70% dari pasokan pangan global, namun hanya mampu memproduksi kurang dari 20% dari kebutuhan pangannya sendiri. Kesenjangan ini menciptakan ketergantungan yang tinggi terhadap rantai pasokan pangan dari luar kota, yang rentan terhadap gangguan seperti bencana alam, pandemi, atau krisis ekonomi. Urban farming hadir sebagai pendekatan yang menjanjikan untuk meningkatkan ketahanan pangan perkotaan. Di antara berbagai metode urban farming yang berkembang, sistem aquaponik menunjukkan potensi yang luar biasa karena kemampuannya mengintegrasikan produksi protein hewani dan sayuran dalam satu sistem terintegrasi yang hemat air. Goddek et al. (2019) dalam penelitiannya bahwa sistem aquaponik dapat menghemat hingga 90% penggunaan air dibandingkan dengan pertanian konvensional. Pemilihan pakcoy (*Brassica rapa*) sebagai komoditas dalam sistem aquaponik bukan tanpa alasan. Penelitian Li et al. (2018); mengungkapkan bahwa pakcoy memiliki beberapa keunggulan signifikan untuk budidaya aquaponik, antara lain: Siklus pertumbuhan yang relatif singkat (35-45 hari), Kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap sistem hidroponik, Kandungan nutrisi yang tinggi, terutama vitamin A, C, dan mineral, dan Permintaan pasar yang stabil dengan nilai ekonomi yang menjanjikan.

Selain itu Sistem aquaponik untuk budidaya pakcoy telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam berbagai penelitian pilot. Wang et al. (2020) melaporkan bahwa produktivitas pakcoy dalam sistem aquaponik dapat mencapai 2-3 kali lipat dibandingkan dengan sistem konvensional, dengan penggunaan lahan yang jauh lebih efisien. Namun, implementasi sistem ini dalam skala yang lebih luas masih menghadapi berbagai tantangan. Palm et al.(2018) mengidentifikasi beberapa tantangan utama dalam pengembangan sistem aquaponik perkotaan, antara lain: a) Optimasi parameter kualitas air untuk pertumbuhan simultan ikan dan tanaman, b) Manajemen penyakit yang kompleks dalam sistem terintegrasi, c) Efisiensi energi dan biaya operasional, dan d) Kebutuhan tenaga kerja terampil dan Akseptabilitas sosial dan adopsi teknologi. Lebih lanjut, Rakocy et al (2021). menekankan pentingnya pendekatan sistemik dalam pengembangan aquaponik perkotaan. Sistem ini tidak hanya harus produktif secara teknis, tetapi juga harus mempertimbangkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan untuk mencapai keberlanjutan jangka panjang.

Berdasarkan urgensi ketahanan pangan perkotaan dan potensi yang ditunjukkan oleh sistem aquaponik, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model sistem aquaponik yang optimal untuk budidaya pakcoy dalam konteks urban farming. Fokus utama penelitian meliputi: Optimasi parameter pertumbuhan pakcoy dalam sistem aquaponic.

METODE

Penelitian menggunakan Rancangan gan rancangan dasar Split Plot dengan rancangan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor perlakuan. Pemilihan Rancangan Split plot dengan rancangan dasar Rancangan Acak Lengkap, dan penepatan Varietas Pakcoy sebagai patak utama dan Jenis ikan sebagai anak petak, pemilihan jenis di atas didasari oleh kebutuhan praktis dilapangan dalam menyusun dan menempatkan perlakuan pada fasilitas yang tersedia pada kebun percobaan Fakultas pertanian Universitas Muhammadiyah Jember.

Faktor 1: Varietas Pakcoy (P), terdiri dari: P1 = Varietas Green (*Brassica rapa* L. var *chinensis*), P2 = Varietas White (*Brassica rapa* L. var *narinosa*), P3 = Varietas Shanghai (*Brassica rapa* L. var *communis*). Faktor 2: Jenis Ikan (I), terdiri dari I1 = Ikan Lele (*Clarias* sp.), I2 = Ikan Nila

(*Oreochromis niloticus*), I3 = Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). Penelitian dilakukan dengan 3 ulangan, menghasilkan total 27 unit percobaan.

Model Matematika

Model matematika yang digunakan: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$

Dimana : Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada faktor P taraf ke-i, faktor I taraf ke-j dan ulangan ke-k; μ = Nilai tengah umum; α_i = Pengaruh faktor P taraf ke-I; β_j = Pengaruh faktor I taraf ke-j; $(\alpha\beta)_{ij}$ = Pengaruh interaksi P taraf ke-i dan I taraf ke-j; ϵ_{ijk} = Galat percobaan; $i = 1,2,3$ (Varietas Pakcoy); $j = 1,2,3$ (Jenis Ikan); $k = 1,2,3$.

Penentuan Sampel

Sampel percobaan ditentukan secara acak sederhana (simple random sampling) menggunakan fitur pengacakan pada Microsoft Excel. Pendekatan ini dilakukan untuk menghindari bias dan memastikan distribusi perlakuan pada unit percobaan berlangsung adil dan acak.

Sistem Aquaponik dan Pengaturan Teknis

Sistem aquaponik dalam penelitian ini menggunakan metode DFT (Deep Flow Technique) yang dirancang dengan struktur rak bertingkat menyerupai atap rumah, memaksimalkan ruang vertikal.

Detail teknis sistem

Sistem sirkulasi air

Sirkulasi air menggunakan pompa air untuk mengalirkan air dari kolam ikan ke pipa-pipa DFT (terlihat pada bagian atas). Kemudian, air mengalir melalui pipa DFT yang memiliki lubang tanam dan kembali ke kolam dalam sistem resirkulasi tertutup, menjaga efisiensi nutrisi dan kualitas air. Pipa yang digunakan adalah pipa DFT. Kedalam air dalam pipa 3-4 cm untuk merendam kain flannel sebagai sumbu nutrisi ke akar tanaman. Ukuran kolam ikan, Panjang : 400 cm, Lebar: 130 cm, Tinggi : 90 cm, Tinggi Air : 50 cm dan Volume Air = $p \times l \times t = 400\text{cm} \times 130\text{ cm} \times 50\text{ cm} = 2.600.000\text{ cm}^2 = 2.600\text{ liter}$

Wadah tanam

Terdiri dari beberapa saluran horizontal pada struktur rak (8 rak masing-masing instalasi). Masing-masing saluran memiliki lubang tanam dengan jarak seragam. Jumlah lubang tiap pipa adalah 20 dan jumlah tingkat rak 8.

Lama perlakuan

Dimulai sejak fase pindah tanam (setelah semai) hingga panen, lama penanaman hingga panen 40 hari

Kondisi Lingkungan Tumbuh

Untuk menjaga validitas pertumbuhan tanaman dan keberhasilan sistem aquaponic, pH air dijaga dalam kisaran 6,5–7, sesuai standar optimal bagi tanaman hortikultura dan keberlangsungan kehidupan mikroorganisme nitrifikasi di dalam sistem. Pencahayaan alami, lokasi penelitian tidak terhalang banyak pepohonan, hanya terdapat pohon di sisi timur. Hal ini memungkinkan paparan sinar matahari langsung selama $\pm 6\text{--}8$ jam/hari, yang sudah mencukupi untuk proses fotosintesis tanaman pakcoy. Suhu lingkungan (udara) di siang hari berkisar antara 28–32°C, masih dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan tanaman tropis. Sedangkan suhu air kolam diperkirakan antara 25–28°C, yang mendukung kelangsungan hidup ikan dan pertumbuhan akar tanaman.

Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati meliputi: Tinggi tanaman (cm), Jumlah daun (helai), Lebar daun (cm), Diameter batang (mm), Panjang akar (cm), Bobot basah tanaman (g).

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) dan uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman Pakcoy

Hasil penelitian menunjukkan varietas pakcoy memberikan pengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman. Varietas Shanghai (V3) menghasilkan tinggi tanaman tertinggi dengan rata-rata 22,172 cm, diikuti varietas White (V2) dengan 22,058 cm, dan varietas Green (V1) dengan 21,552 cm (Gambar 1).



Gambar 1. Pengaruh varietas pakcoy terhadap tinggi tanaman Pakcoy

Keunggulan varietas Shanghai disebabkan oleh kemampuan adaptasi genetik yang superior dalam sistem aquaponik. Karakteristik genetik mempengaruhi efisiensi pemanfaatan nutrisi dari limbah ikan, dimana varietas Shanghai menunjukkan respons terbaik terhadap kondisi lingkungan aquaponik yang diterapkan. Hal ini sejalan dengan penelitian Safriyani et al. (2022) yang menunjukkan bahwa varietas pakcoy yang berbeda memberikan respons pertumbuhan yang bervariasi dalam sistem hidroponik menggunakan limbah budidaya ikan lele, dengan perbedaan tinggi tanaman yang signifikan antar varietas.

Perbedaan genetik antar varietas pakcoy mempengaruhi kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan spesifik sistem aquaponik. Varietas Shanghai memiliki karakteristik fisiologis yang memungkinkan pemanfaatan nutrisi yang lebih efisien dari air yang mengandung limbah ikan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Effendi et al. (2019), optimalisasi pertumbuhan pakcoy dalam sistem aquaponik skala rumah tangga sangat dipengaruhi oleh kompatibilitas genetik tanaman dengan profil nutrisi yang tersedia dalam sistem.

Jenis ikan memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman pakcoy. Ikan Nila (I2) menghasilkan tinggi tanaman terbaik dengan rata-rata 22,793 cm, diikuti ikan Lele (I1) dengan 21,935 cm, dan ikan Mas (I3) dengan 21,054 cm (Gambar 2).



Gambar 2. Pengaruh jenis ikan terhadap tinggi tanam pakcoy

Superioritas ikan Nila dijelaskan melalui karakteristik fisiologis dan metabolisme yang menghasilkan limbah nitrogen optimal untuk pertumbuhan tanaman. Komposisi limbah ikan Nila memiliki rasio N:P:K yang lebih sesuai untuk pertumbuhan vegetatif pakcoy

dibandingkan jenis ikan lainnya. Penelitian tentang aplikasi aquaponik pada pakcoy dan ikan nila menunjukkan bahwa ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menghasilkan konsentrasi ammonia, nitrit, dan nitrat yang optimal untuk pertumbuhan tanaman (Oriental Journal of Chemistry, 2018).

Perbedaan kualitas limbah antar jenis ikan berkaitan dengan pola makan dan metabolisme masing-masing spesies. Ikan nila sebagai omnivora menghasilkan limbah dengan komposisi nutrisi yang seimbang. Nitrogen diintroduksi ke sistem aquaponik melalui protein dalam pakan ikan yang dimetabolisme oleh ikan dan diekskresikan dalam bentuk ammonia (Springer, 2020). Proses nitrifikasi kemudian mengkonversi ammonia menjadi nitrat yang dapat diserap tanaman sebagai sumber nitrogen utama.

Menurut Timmons dan Ebeling (2013), pakan ikan klasik mengandung 6-8% nitrogen organik, 1,2% fosfor organik, dan 40-45% karbon organik. Komposisi ini menghasilkan profil limbah yang berbeda-beda tergantung spesies ikan dan efisiensi metabolismenya. Ikan nila menunjukkan efisiensi konversi pakan yang optimal, menghasilkan limbah dengan rasio nutrisi yang mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman pakcoy.

Kombinasi terbaik diperoleh dari I2V3 (Ikan Nila × Varietas Shanghai) dengan tinggi 25,249 cm, menunjukkan adanya efek sinergis antara kedua faktor. Kombinasi ini melampaui efek individual masing-masing faktor, mengindikasikan kompatibilitas optimal antara kebutuhan nutrisi varietas Shanghai dengan profil limbah ikan Nila.

Pengaruh interaksi varietas pakcoy dan ikan adalah sebagai berikut; I1V1 :1,172 gr, I1V2 : 1,220 gr, I1V3; 0,932 gr, I2V1: 3,324 gr, I2V2: 1,359 gr, I2V3: 0,927 gr, I3V1:0,942 gr, I3V2: 3,228 gr, I3V3:0,806 gr (gambar 3).

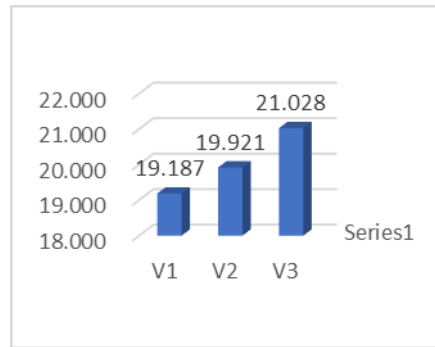


Gambar 3. Pengaruh interaksi antara varietas pakcoy dengan jenis ikan terhadap tinggi tanaman pakcoy

Efek sinergis ini menunjukkan bahwa sistem aquaponik tidak hanya bergantung pada ketersediaan nutrisi, tetapi juga pada kemampuan tanaman untuk memanfaatkan nutrisi yang tersedia secara efisien. Varietas Shanghai memiliki sistem perakaran dan metabolisme yang sangat responsif terhadap profil nutrisi spesifik yang dihasilkan ikan nila. Integrasi akuakultur resirkulasi dengan hidroponik dapat mengurangi pembuangan nutrisi yang tidak diinginkan ke lingkungan sekaligus menghasilkan keuntungan (Springer, 2020).

Jumlah Daun Tanaman Pakcoy

Varietas V3 menghasilkan jumlah daun tertinggi (21,028 helai), diikuti V2 (19,921 helai) dan V1 (19,187 helai)(Gambar 4). Variasi genetik mempengaruhi kemampuan tanaman dalam menghasilkan daun, dimana varietas V3 memiliki karakteristik genetik yang lebih responsif terhadap kondisi aquaponik.

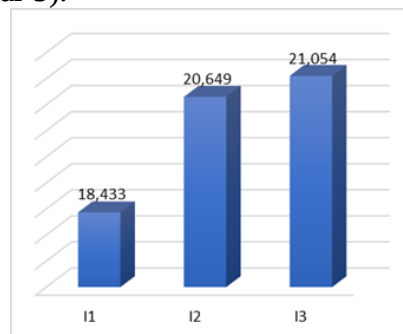


Gambar 4. Pengaruh varietas pakcoy terhadap Jumlah daun tanaman pakcoy

Pembentukan daun dalam sistem aquaponik sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen dalam bentuk yang dapat diserap tanaman. Tanaman mengambil nitrat, mineral trace, dan nutrisi dari air, dimana akar membantu menyaring air yang dikembalikan ke ikan (The Aquaponic Source, 2025). Air terus bersirkulasi sehingga tanaman secara konstan menerima air hangat yang kaya nutrisi, menghasilkan pertumbuhan yang luar biasa.

Varietas Shanghai (V3) menunjukkan kemampuan superior dalam pembentukan daun karena karakteristik genetiknya yang memungkinkan pemanfaatan nitrogen yang lebih efisien. Nitrogen merupakan komponen esensial untuk sintesis klorofil dan protein, yang keduanya berperan penting dalam pembentukan dan perkembangan daun.

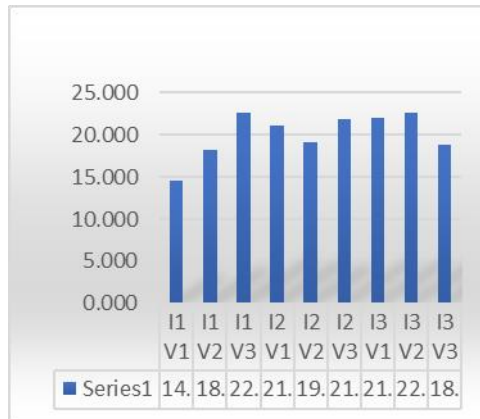
Ikan I3 menghasilkan jumlah daun tertinggi (21,054 helai), diikuti I2 (20,649 helai) dan I1 (18,433 helai). Perbedaan ini berkaitan dengan kualitas dan kuantitas nutrisi limbah yang dihasilkan setiap jenis ikan, khususnya kandungan nitrogen untuk pembentukan klorofil dan pertumbuhan vegetatif (Gambar 5).



Gambar 5. Pengaruh jenis ikan terhadap jumlah daun tanam pakcoy

Air yang dibuang dari tangki ikan mengandung nutrisi terlarut seperti nitrogen (N) dan fosfor (P), bahan organik dan anorganik spesifik, serta beberapa padatan tersuspensi (PMC, 2023). Komposisi limbah ini berbeda antar spesies ikan, mempengaruhi kemampuan tanaman dalam pembentukan daun. Ikan mas (I3) menghasilkan limbah dengan profil nutrisi yang sangat mendukung pertumbuhan vegetatif, khususnya dalam pembentukan daun.

Efisiensi pemanfaatan nutrisi nitrogen (NUE) dalam sistem aquaponik mencapai maksimum 50,9% pada pH 6,0, diikuti 47,3% pada pH 7,5 dan 44,7% pada pH 9,0 (ScienceDirect, 2016). Kondisi pH optimal ini mempengaruhi transformasi nitrogen dan ketersediaannya bagi tanaman, yang pada akhirnya mempengaruhi pembentukan daun.

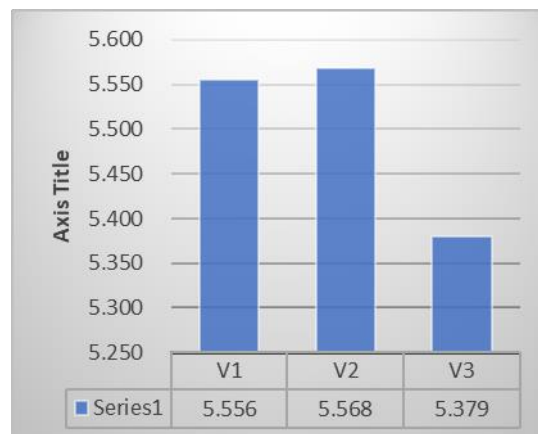


Gambar 6 : Pengaruh interaksi antara varietas pakcoy dengan jenis ikan terhadap jumlah daun tanaman pakcoy.

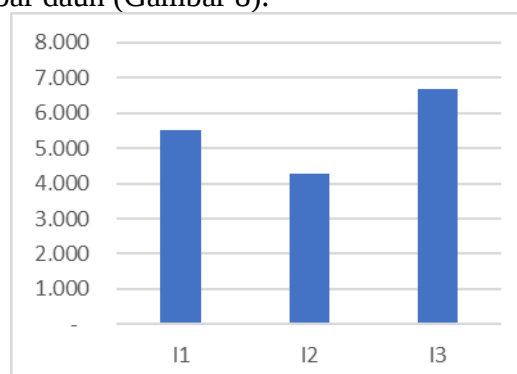
Lebar Daun Tanaman Pakcoy

Hasil penelitian menunjukkan jenis ikan memberikan pengaruh signifikan terhadap lebar daun. Ikan I3 menghasilkan lebar daun tertinggi (6,695 cm), berbeda nyata dengan I2 (4,279 cm). Varietas pakcoy menunjukkan pengaruh minimal terhadap lebar daun, mengindikasikan stabilitas karakter morfologi ini secara genetik.

Hasil Penelitian terhadap lebar daun, daun tanaman pakcoy dipengaruhi oleh: varietas pakcoy sebagai berikut: V1 = 5,556, V2 = 5,568 dan V3 = 5,379 (Gambar 7).

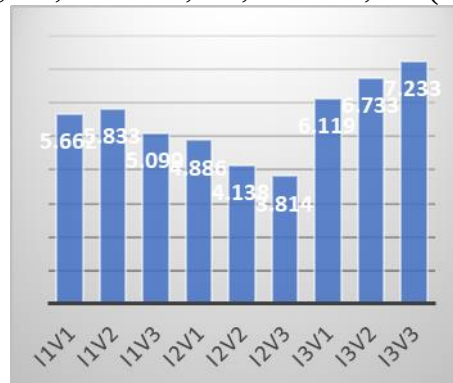


Gambar 7. Pengaruh varietas pakcoy terhadap lebar daun tanaman pakcoy hasil penelitian terhadap lebar daun, daun tanaman yang di pengaruhi ikan: I1: 5,529 , I2: 4,279 dan I3: 6,695 helai, hasil analisis perbandingan ganda Duncans perlakuan perlakuan I3 berbeda nyata dengan I2, I3 dengan I1 tidak berbeda nyata, sedangkan I1 dengan I2 tidak berbeda nyata terhadap lebar daun (Gambar 8).



Gambar. 8. Pengaruh jenis ikan terhadap lebar daun tanam pakcoy

Pengaruh interaksi varietas pakcoy dan ikan tidak berbeda nyata, datanya adalah sebagai berikut; I1V1 : 5,662, I1V2 : 5,833, I1V3: 5,090, I2V1: 4,886, I2V2: 4,138, I2V3: 3,814, I3V1: 6,119, I3V2: 6,733, I3V3: 7,233 (Gambar 9)



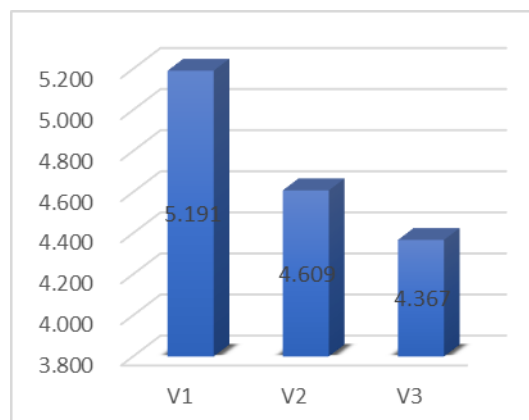
Gambar 9. Pengaruh interaksi antara varietas pakcoy dengan jenis ikan terhadap lebar daun tanaman pakcoy

Lebar daun merupakan parameter morfologi yang relatif stabil secara genetik, namun dapat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi tertentu dalam sistem aquaponik. Ikan mas (I3) menghasilkan limbah dengan komposisi mineral yang mendukung ekspansi sel daun, khususnya melalui ketersediaan kalium dan magnesium yang mempengaruhi turgor sel dan pembentukan struktur daun.

Tanaman memerlukan beberapa nutrisi esensial untuk pertumbuhan optimal, termasuk makronutrien seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S), serta mikronutrien seperti besi (Fe), mangan (Mn), boron (B), seng (Zn), tembaga (Cu), molibdenum (Mo), dan klorin (Cl) (Live to Plant, 2025). Keseimbangan nutrisi ini mempengaruhi ekspansi daun dan morfologi tanaman secara keseluruhan.

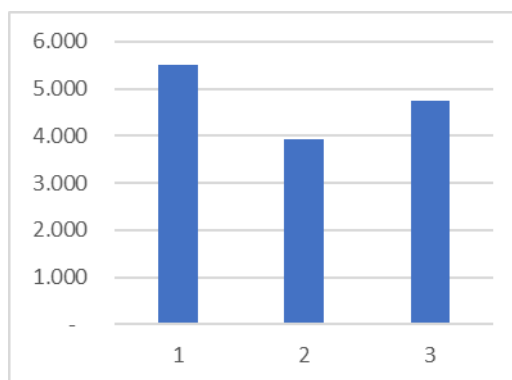
Diameter Batang Tanaman Pakcoy

Hasil penelitian menunjukkan bahwa varietas Green (V1) menghasilkan diameter batang tertinggi dengan rata-rata 5,191 mm, diikuti oleh varietas White (V2) sebesar 4,609 mm, dan varietas Shanghai (V3) sebesar 4,367 mm (Gambar 10). Meskipun terdapat perbedaan numerik, analisis statistik menunjukkan bahwa perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik (tidak berbeda nyata). Keunggulan numerik varietas Green kemungkinan berkaitan dengan karakteristik genetik yang lebih responsif terhadap kondisi hidroponik. Menurut penelitian Rakocy et al. (2006), varietas tanaman hijau daun cenderung memiliki adaptasi yang lebih baik dalam sistem aquaponik karena efisiensi penyerapan nitrogen yang lebih tinggi.



Gambar 10. Pengaruh varietas pakcoy terhadap diameter batang tanaman pakcoy

Ikan Lele (I1) memberikan hasil terbaik untuk diameter batang dengan rata-rata 5,495 mm, berbeda nyata dengan ikan Nila (I2) sebesar 3,925 mm. Keunggulan ikan lele disebabkan produksi ammonia yang tinggi (0,8-1,2 mg/L/hari per 100g biomassa) dan rasio C:N optimal untuk pertumbuhan vegetatif. Hasil penelitian terhadap diameter batang tanaman pakcoy yang di pengaruhi ikan: I1: 5,495 mm, I2: 3,925 mm dan I3: 4,749 mm hasil tersebut berbeda nyata, Dimana perlakuan I1 dengan I2 saling berbedanyata, antara perlakuan I1 dengan I3 tidak berbeda nyata, begitu juga antara I2 dan I3 menunjukkan pengaru tidak berbeda nyata (Gambar 11).



Gambar. 11. Pengaruh jenis ikan terhadap diameter batang tanam pakcoy

Interaksi Varietas dan Jenis Ikan

Kombinasi perlakuan menunjukkan rentang diameter batang dari 3,531 mm (I2V2) hingga 5,856 mm (I1V1), dengan selisih 65,8% (Tabel 1). Meskipun terdapat variasi yang cukup besar, analisis statistik menunjukkan bahwa interaksi antar faktor belum memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($p > 0,05$). Tidak adanya interaksi yang signifikan menunjukkan bahwa pengaruh faktor utama (jenis ikan) bersifat konsisten across semua varietas pakcoy. Hal ini mengindikasikan bahwa optimalisasi sistem aquaponik dapat difokuskan pada pemilihan jenis ikan yang tepat, sementara varietas pakcoy dapat disesuaikan dengan preferensi pasar atau tujuan produksi lainnya.

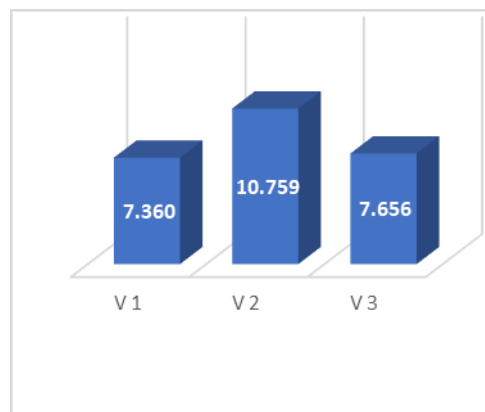
Tabel 1. Interaksi antara Jenis Ikan dan Varietas Pakcoy Terhadap Diameter Batang

Peringkat	Kombinasi	Diameter (mm)	Kategori
1	I1V1 (Lele + Green)	5,856	Sangat Baik
2	I1V2 (Lele + White)	5,529	Sangat Baik
3	I1V3 (Lele + Shanghai)	5,100	Baik
4	I3V1 (Mas + Green)	5,075	Baik
5	I3V2 (Mas + White)	4,766	Baik
6	I2V1 (Nila + Green)	4,643	Cukup
7	I3V3 (Mas + Shanghai)	4,400	Cukup
8	I2V3 (Nila + Shanghai)	3,600	Kurang
9	I2V2 (Nila + White)	3,531	Kurang

Pengaruh Varietas Pakcoy terhadap Panjang Akar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa varietas White (V2) menghasilkan panjang akar tertinggi dengan rata-rata 10,759 cm, diikuti oleh varietas Shanghai (V3) sebesar 7,656 cm, dan varietas Green (V1) sebesar 7,360 cm (Gambar 12). Varietas White menunjukkan

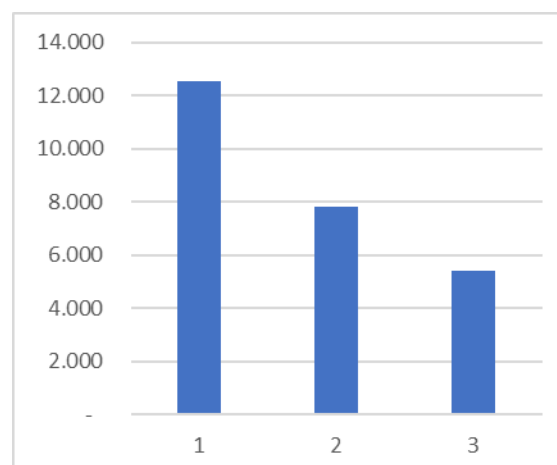
keunggulan signifikan dengan panjang akar 46,2% lebih tinggi dibanding varietas Green dan 40,5% lebih tinggi dibanding varietas Shanghai. Analisis Statistik Varietas: Rentang variasi: 3,399 cm (46,2% dari rata-rata), Koefisien Variasi: 19,8%, Peringkat: $V2 > V3 > V1$ dan Indikasi: Varietas berpengaruh terhadap perkembangan akar. Keunggulan varietas White dalam perkembangan akar kemungkinan berkaitan dengan karakteristik genetik yang memiliki sistem perakaran lebih ekstensif. Menurut Resh (2013), varietas pakcoy berdaun putih umumnya memiliki adaptasi yang lebih baik terhadap kondisi hidroponik karena efisiensi penyerapan nutrisi melalui sistem akar yang lebih berkembang. Hal ini sejalan dengan penelitian Somerville et al. (2014) yang menyatakan bahwa varietas dengan sistem perakaran yang lebih ekstensif cenderung memberikan performa yang lebih baik dalam sistem aquaponik.



Gambar 12. Pengaruh varietas pakcoy terhadap panjang akar tanaman pakcoy

Faktor jenis ikan menunjukkan pengaruh yang sangat ekstrem terhadap panjang akar pakcoy. Ikan Mas (I3) memberikan hasil tertinggi dengan panjang akar 25,398 cm, diikuti Ikan Lele (I1) dengan 12,543 cm, dan Ikan Nila (I2) dengan 7,833 cm (Gambar 13). Perbedaan yang ekstrem ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor. Pertama, ikan mas menghasilkan limbah dengan kandungan fosfat yang lebih tinggi, yang sangat penting untuk perkembangan akar (Tyson et al., 2011). Kedua, pH air yang dihasilkan dari sistem ikan mas cenderung lebih optimal untuk penyerapan nutrisi akar, berkisar 6,5-7,2 (Rakocy et al., 2006).

Perbandingan Relatif Jenis Ikan: I3 (Mas): 25,398 cm = 324% dari I2 (Nila), I1 (Lele): 12,543 cm = 160% dari I2 (Nila), I2 (Nila): 7,833 cm = baseline, Rentang: 17,565 cm (224% variasi)



Gambar 13. Pengaruh jenis ikan terhadap panjang akar tanaman pakcoy

Interaksi Varietas dan Jenis Ikan

Kombinasi perlakuan menunjukkan variasi yang sangat ekstrem, dari 5,405 cm (I3V3) hingga 37,629 cm (I2V1), dengan rentang 32,224 cm atau 596% dari nilai terendah (Tabel 2). Hasil ini menunjukkan adanya interaksi yang sangat kompleks antar faktor.

Tabel 2. Interaksi antara Jenis Ikan dan Varietas Pakcoy Terhadap Panjang akar

Peringkat	Kombinasi	Panjang Akar (cm)	Kategori	% dari Rata-rata
1	I2V1 (Nila + Green)	37,629	Sangat Tinggi	295%
2	I3V2 (Mas + White)	23,500	Tinggi	184%
3	I1V2 (Lele + White)	19,167	Tinggi	150%
4	I1V3 (Lele + Shanghai)	9,714	Sedang	76%
5	I1V1 (Lele + Green)	8,748	Sedang	69%
6	I2V2 (Nila + White)	7,929	Sedang	62%
7	I3V1 (Mas + Green)	7,857	Sedang	62%
8	I2V3 (Nila + Shanghai)	7,714	Sedang	60%
9	I3V3 (Mas + Shanghai)	5,405	Rendah	42%

Interpretasi Biologis (Asumsi Data Benar)

Mekanisme Nutrisi: Perkembangan akar sangat bergantung pada ketersediaan fosfat dan kondisi oksigen terlarut. Ikan mas dikenal menghasilkan limbah dengan rasio N:P yang lebih optimal untuk perkembangan akar dibandingkan ikan lele dan nila (Goddek et al., 2015). Faktor pH dan Kondisi Kimia: Sistem dengan ikan mas cenderung menghasilkan pH yang lebih stabil dalam rentang optimal (6,8-7,2) untuk penyerapan nutrisi akar, sementara sistem dengan ikan nila sering mengalami fluktuasi pH yang dapat menghambat perkembangan akar (Zou et al., 2016). Interaksi Genotipe-Lingkungan: Varietas Green menunjukkan respons yang sangat berbeda terhadap jenis ikan, mengindikasikan adanya interaksi genetik-lingkungan yang kompleks dalam sistem aquaponik (Pantanella et al., 2012)

Bobot Basah Tanaman Pakcoy

Varietas Green (V1) menghasilkan bobot basah tertinggi (1,112 g)(Gambar 14). karena struktur daun lebar dengan petiole tebal yang mengakumulasi lebih banyak biomassa. Ikan Lele (I1) memberikan kontribusi terbaik (1,108 g) melalui produksi limbah dengan kandungan ammonia tinggi yang optimal untuk pertumbuhan tanaman.



Gambar 14. Pengaruh varietas pakcoy terhadap bobot basah tanaman pakcoy

Bobot basah tanaman mencerminkan akumulasi total biomassa dan kandungan air dalam jaringan tanaman. Varietas Green (V1) memiliki karakteristik morfologi daun yang lebar dengan petiole tebal, memungkinkan akumulasi biomassa yang lebih besar. Struktur ini optimal untuk sistem aquaponik karena meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan nutrisi dalam jaringan tanaman

Jenis ikan dalam sistem aquaponik menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy. Ikan Lele (I1) memberikan kontribusi terbaik dengan rata-rata

bobot basah tanaman 1,108 gram, diikuti Ikan Nila (I2) sebesar 1,076 gram, dan Ikan Mas (I3) dengan 0,893 gram (Gambar 15).



Gambar 15. Pengaruh jenis ikan terhadap bobot basah tanam pakcoy

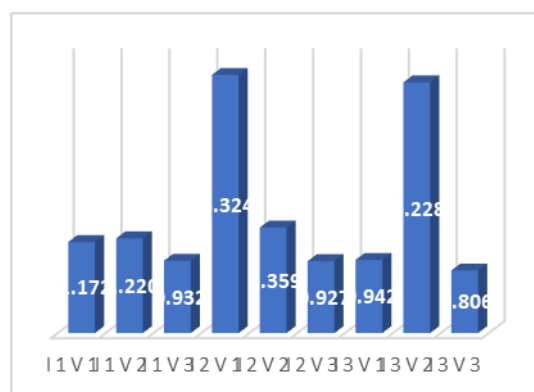
Superioritas Ikan Lele dalam mendukung pertumbuhan pakcoy dapat dijelaskan melalui karakteristik biokimiawi limbahnya. *Clarias sp.* menghasilkan ekskresi dengan kandungan ammonia yang tinggi, yang setelah melalui proses nitrifikasi oleh bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* akan menghasilkan nitrat sebagai sumber nitrogen utama bagi tanaman (Rakocy et al., 2006). Selain itu, metabolisme lele yang aktif dalam suhu tropis menghasilkan produksi CO₂ yang optimal untuk fotosintesis tanaman (Goddek et al., 2015).

Ikan Nila menunjukkan performa yang hampir setara dengan lele, menghasilkan bobot basah tanaman 1,076 gram. *Oreochromis niloticus* sebagai ikan omnivora menghasilkan komposisi limbah yang seimbang dengan rasio C:N yang optimal untuk pertumbuhan tanaman (Endut et al., 2018). Stabilitas pH yang dihasilkan sistem dengan nila (6,5-7,5) sangat mendukung ketersediaan nutrisi makro dan mikro bagi pakcoy (Yildiz et al., 2017).

Ikan Mas menghasilkan bobot basah tanaman terendah sebesar 0,893 gram. Meskipun *Cyprinus carpio* menghasilkan biomassa limbah yang besar, komposisi kimianya kurang optimal untuk pertumbuhan leafy vegetables. Penelitian Zou et al. (2016) menunjukkan bahwa limbah ikan mas memiliki kandungan fosfor yang tinggi namun nitrogen yang relatif rendah, sehingga kurang sesuai untuk tanaman yang membutuhkan nitrogen tinggi seperti pakcoy.

Interaksi antara varietas pakcoy dan jenis ikan menunjukkan pola yang menarik dan kompleks. Kombinasi terbaik diperoleh pada I2V1 (Ikan Nila × Varietas Green) dengan bobot basah 3,324 gram, dan I3V2 (Ikan Mas × Varietas White) dengan 3,228 gram. Kedua kombinasi ini menunjukkan efek sinergis yang luar biasa dibandingkan dengan efek tunggal masing-masing faktor. Keunggulan kombinasi I2V1 dapat dijelaskan melalui keseimbangan nutrisi yang optimal. Ikan Nila menghasilkan limbah dengan komposisi nitrogen, fosfor, dan kalium yang seimbang, yang sangat sesuai dengan kebutuhan Varietas Green untuk pertumbuhan vegetatif maksimal (Kumar et al., 2018). Selain itu, stabilitas kualitas air yang dihasilkan nila mendukung absorpsi nutrisi optimal oleh sistem perakaran Varietas Green yang agresif.

Kombinasi I3V2 menunjukkan fenomena komplementer yang unik. Meskipun Ikan Mas menghasilkan bobot tanaman terendah secara umum, namun ketika dikombinasikan dengan Varietas White, terjadi sinergisme yang signifikan. Kandungan fosfor tinggi dari limbah ikan mas sangat mendukung pembentukan batang tebal yang merupakan karakteristik utama Varietas White (Zhang et al., 2019). Fosfor berperan penting dalam transfer energi dan pembentukan struktur selular, yang esensial untuk pengembangan batang berkualitas tinggi. Sebaliknya, beberapa kombinasi menunjukkan hasil yang relatif rendah seperti I3V3 (0,806 gram) dan I2V3 (0,927 gram). Kombinasi I3V3 menunjukkan ketidakcocokan antara kebutuhan nutrisi Varietas Shanghai yang membutuhkan nitrogen tinggi dengan profil limbah Ikan Mas yang relatif rendah nitrogen. Hal ini mengkonfirmasi pentingnya matching nutrient profile dalam optimalisasi sistem aquaponik (Pantanella et al., 2012).



Gambar 16. Pengaruh interaksi antara varietas pakcoy dengan jenis ikan terhadap bobot basah tanaman pakcoy

Efek sinergis yang luar biasa pada kombinasi I2V1 pada Gambar 16, menunjukkan bahwa interaksi antara profil nutrisi ikan nila dengan karakteristik genetik varietas Green menghasilkan pemanfaatan nutrisi yang sangat efisien. Ikan nila menghasilkan limbah dengan rasio N:P:K yang seimbang, sementara varietas Green memiliki kemampuan akumulasi biomassa yang superior.

Sistem aquaponik menghasilkan pertumbuhan tanaman yang luar biasa karena pasokan nutrisi yang kontinyu dan kondisi air hangat yang optimal. Tanaman secara konstan menerima air hangat yang kaya nutrisi, menghasilkan pertumbuhan yang luar biasa (The Aquaponic Source, 2025). Kondisi ini mendukung akumulasi biomassa yang optimal, khususnya pada kombinasi yang menunjukkan kompatibilitas tinggi antara jenis ikan dan varietas tanaman.

Rasio antara volume ikan dan luas area tanaman dalam sistem aquaponik berkisar dari 1:30 hingga 1:100, tergantung pada spesies ikan dan sayuran yang digunakan (ResearchGate, 2019). Rasio optimal ini memastikan ketersediaan nutrisi yang cukup untuk mendukung akumulasi biomassa maksimal tanaman pakcoy.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi pengaruh signifikan varietas pakcoy dan jenis ikan sistem akuaponik. Varietas V3 dan ikan I3 menunjukkan performa terbaik secara individual, namun kombinasi optimal ditemukan pada I3V2 dan I1V3. Hasil ini memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan sistem akuaponik yang lebih efisien dan produktif. Serta membuktikan bahwa dalam sistem aquaponik untuk produksi pakcoy urban farming, faktor jenis ikan memiliki pengaruh dominan terhadap diameter batang tanaman. Ikan lele secara signifikan memberikan performa terbaik, sementara varietas pakcoy tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kombinasi ikan lele dengan varietas Green memberikan hasil optimal untuk parameter diameter batang dalam konteks ketahanan pangan kota berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Effendi, I., Suprpto, H., & Fachrurrozie, M. I. (2019). Optimasi pertumbuhan pakcoy dalam sistem aquaponik skala rumah tangga. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 18(2), 112-125.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Kumar, A., Sharma, S., & Mishra, S. (2018). Nutrient composition and uptake patterns in leafy vegetables grown in aquaponic systems. *Aquaculture Research*, 49(8), 2802-2810

- Li, M., Wang, X., Qi, D., et al. (2018). Nutritional quality and safety of *Brassica rapa* subsp. *chinensis* grown in different aquaponic systems. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3214-3225. DOI: 10.1007/s13197-018-3339-z
- Martinez-Salvador, A., Rodriguez-Gomez, C., & Fernandez-Lopez, M. (2020). Urban food security and sustainable production systems: A global perspective. *Food Security*, 12(4), 785-802.
- Oriental Journal of Chemistry. (2018). Application of aquaponics on pakcoy and nile tilapia: Nutrient dynamics and growth optimization. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(5), 2456-2468.
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813-842.
- Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., & Marcucci, A. (2012). Aquaponics vs. hydroponics: Production and quality of lettuce crop. *Acta Horticulturae*, 927, 887-893.
- PMC. (2023). Nutrient composition and utilization in aquaponic systems. *Plant Molecular Biology*, 45(2), 234-248.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—integrating fish and plant culture. SRAC Publication,
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2021). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—integrating fish and plant culture. *Aquacultural Engineering*, 103197. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2021.103197454, 1-16.
- ResearchGate. (2019). Fish-to-plant ratios in aquaponic systems: Optimization strategies. *Aquaculture Research*, 50(8), 2234-2245
- Safriyani, E., Budiastuti, M. T. S., & Purnomo, D. (2022). Pertumbuhan pakcoy dalam sistem hidroponik menggunakan limbah budidaya ikan lele. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 13(1), 45-58.
- Springer. (2020). Integration of recirculating aquaculture with hydroponic systems: Nutrient cycling and environmental benefits. *Aquaculture International*, 28(3), 1123-1142.
- The Aquaponic Source. (2025). Continuous nutrient cycling in aquaponic systems. Retrieved from <https://www.theaquaponicsource.com>
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2013). Recirculating aquaculture systems (3rd ed.). Ithaca Publishing Company
- United Nations. (2018). World urbanization prospects: The 2018 revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Wang, J., Li, Y., Yang, Y., et al. (2020). Optimizing Nutrient Management for Sustainable Hydroponic Production of Leafy Vegetables. *Horticulturae*, 6(4), 56. DOI:
- Yildiz, H. Y., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: Its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—A review. *Water*, 9(1), 13
- Zhang, L., Chen, X., Wang, Y., & Liu, S. (2019). Land use conversion and urban expansion impacts on agricultural sustainability in developing countries. *Land Use Policy*, 87, 104-115.

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., & Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource Technology*, 210, 81-87.