

Pengaruh Padat Tebar Terhadap Performa Ikan Koi (*Cyprinus rubrofasciatus*) dan Produktivitas Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans*) pada Sistem Akuaponik dengan Aplikasi *Fine Bubbles* (FBs)

Yuli Andriani*, Irfan Zidni, Ujang Subhan, Iskandar, Reza Darmawan, dan Zidan Fachriza
Adya Nugraha

Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21 Jatinangor 45363
*Alamat korespondensi: yuli.andriani@unpad.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 06-11-2025 Direvisi: 30-12-2025 Dipublikasi: 31-12-2025	Effects of stocking density on the performance of koi fish (<i>Cyprinus rubrofasciatus</i>) and the productivity of water spinach (<i>Ipomoea reptans</i>) in the aquaponic system with the application of fine bubbles (FBs)
Keywords: Hematological condition, Plant weight, Protein efficiency ratio, Specific growth rate, Water quality	The increase in koi fish production requires an efficient, environmentally friendly production system capable of maintaining water quality. An aquaponic system combined with Fine Bubbles (FBs) technology has the potential to increase dissolved oxygen concentration and reduce nitrogen waste accumulation, as well as enhance plant productivity, particularly under high stocking density conditions. This study aimed to determine the optimal fish stocking density that improves growth performance and water spinach productivity in an aquaponic system using FBs technology. The research was conducted from October to December 2024 at the Ciparanje Greenhouse, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Universitas Padjadjaran. The method used was an experimental method with a Completely Randomized Design (CRD), which consisted of four stocking density treatments, namely 25, 50, 75, and 100 fish per 200 L of water, with three replications over a 42-day rearing period. The results showed that a stocking density of 75 fish per 200 L produced the best performance, with a survival rate of 90.67±5.81%, a specific growth rate of 1.54% g/day, feed utilization efficiency of 49.68%, protein efficiency ratio of 1.12±0.13%, and relatively optimal hematological conditions. The highest water spinach productivity was indicated by a plant height of 38.7±1.7 cm and a plant weight of 11.5±1.0 g. Water quality during the study remained within ranges that supported fish and plant growth. Therefore, differences in koi fish stocking density in an aquaponic system with FBs application significantly affected koi fish growth performance, koi fish health, and water spinach productivity, with the optimal stocking density being 75 fish per 200 L of water.
Kata Kunci: Bobot tanaman, Kondisi hematologi, Kualitas air, Laju pertumbuhan spesifik, Rasio efisiensi protein	Peningkatan produksi ikan koi menuntut sistem produksi yang efisien, ramah lingkungan, serta mampu menjaga kualitas air. Sistem akuaponik yang dikombinasikan teknologi <i>Fine Bubbles</i> (FBs) berpotensi meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut dan menekan akumulasi limbah nitrogen, serta dapat meningkatkan produktivitas tanaman, khususnya pada kondisi padat tebar tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kepadatan optimum ikan yang dapat meningkatkan performa pertumbuhan dan produktivitas tanaman kangkung pada sistem akuaponik menggunakan teknologi FBs. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober sampai Desember 2024 di

greenhouse Ciparanje, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan padat tebar, yaitu 25, 50, 75, dan 100 ekor/200 L air dengan tiga ulangan selama 42 hari pemeliharaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa padat tebar 75 ekor/200 L air menghasilkan performa terbaik dengan tingkat kelangsungan hidup sebesar $90,67 \pm 5,81\%$, laju pertumbuhan spesifik $1,54\%$ g/hari, efisiensi pemanfaatan pakan $49,68\%$, rasio efisiensi protein $1,12 \pm 0,13\%$, serta kondisi hematologi yang relatif optimal. Produktivitas tanaman kangkung tertinggi ditunjukkan oleh tinggi tanaman mencapai $38,7 \pm 1,7$ cm dan bobot tanaman $11,5 \pm 1,0$ g. Kualitas air selama penelitian berada pada kisaran yang masih mendukung pertumbuhan ikan dan tanaman. Dengan demikian, perbedaan padat tebar ikan koi pada sistem akuaponik dengan aplikasi FBs berpengaruh nyata terhadap performa pertumbuhan ikan koi, kesehatan ikan koi, dan produktivitas kangkung, dengan padat tebar optimum pada 75 ekor/200 L air.

PENDAHULUAN

Ikan koi (*Cyprinus rubrofuscus*) merupakan salah satu komoditas ikan hias air tawar introduksi yang sampai saat ini masih menjadi primadona di pasar internasional (Kusrini dkk., 2015). Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu sentra perikanan Indonesia yang memberikan kontribusi signifikan terhadap produksi ikan koi secara nasional. Berdasarkan data dari Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Provinsi Jawa Barat tahun 2019-2021, jumlah produksi komoditas ikan hias koi mencapai 67,1 juta ekor (2019), 71,68 juta ekor (2020), dan 72,78 juta ekor (2021). Peningkatan produksi tersebut menunjukkan prospek usaha budidaya ikan koi yang sangat menjanjikan, namun juga menuntut penerapan sistem budidaya yang efisien dan berkelanjutan.

Salah satu faktor penentu keberhasilan budidaya ikan koi adalah tingkat pertumbuhan dan kesehatan ikan yang dipengaruhi oleh kualitas lingkungan, ketersediaan pakan, serta ruang gerak yang berkaitan erat dengan padat tebar (Kifly dkk., 2020). Padat tebar yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kompetisi dalam memperoleh pakan dan oksigen, meningkatkan akumulasi limbah metabolik, serta memicu stres yang berdampak pada penurunan pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan (Folnuari dkk., 2017). Oleh karena itu, diperlukan sistem budidaya yang mampu mendukung padat tebar tinggi tanpa menurunkan performa dan kesehatan ikan.

Salah satu inovasi yang dapat diterapkan yaitu sistem budidaya ikan secara intensif melalui sistem akuaponik. Sistem akuaponik merupakan sistem yang

mengombinasikan akuakultur dan hidroponik, yaitu dengan memelihara ikan dan tanaman dalam satu sistem yang terintegrasi (Yep & Zheng, 2019). Sistem ini dapat menghemat penggunaan air dalam budidaya sampai 97% dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah (Zidni dkk., 2013). Teknologi akuaponik bertujuan untuk menjaga kualitas air khususnya mengurangi limbah nitrogen dari sisa metabolisme ikan melalui integrasi sistem produksi tanaman ke dalam sistem akuakultur (Hao *et al.*, 2020). Tanaman yang banyak digunakan dalam sistem akuaponik adalah tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*). Selain sebagai komoditas tanaman dalam sistem budidaya akuaponik, tanaman kangkung berfungsi sebagai biofilter untuk menyerap nitrogen dalam bentuk amonia sehingga nitrogen di air akan berkurang (Zahidah dkk., 2017).

Namun demikian, padat tebar tinggi menjadi titik kritis dalam sistem akuaponik, karena terjadinya akumulasi limbah nitrogen dan ketersediaan oksigen terlarut sehingga dapat menurunkan kualitas air. Penurunan kualitas air dapat memicu penurunan nafsu makan ikan, laju pertumbuhan spesifik, memicu penyakit pada ikan, dan peningkatan tingkat kematian ikan (Zahidah *et al.*, 2018). Oleh karena itu pada kegiatan akuaponik diperlukan penambahan asupan oksigen. Penambahan asupan oksigen pada media pemeliharaan dapat meningkatkan produktivitas ikan dalam sistem akuaponik (Andriani *et al.*, 2023). Salah satu cara untuk meningkatkan oksigen terlarut adalah dengan penggunaan aplikasi *Fine Bubbles* (FBs) pada kolam budidaya (Shiyang *et al.*, 2013).

Fine Bubbles merupakan teknologi aerasi yang menghasilkan gelembung berukuran kecil

(*microbubble*) dan gelembung berskala nano (*nanobubble*) (Agarwal *et al.*, 2011). Beberapa penelitian menggunakan FBs telah menunjukkan hasil yang baik terhadap produktivitas kegiatan perikanan, salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Subhan *et al.* (2018), yaitu penggunaan FBs mampu menyediakan oksigen terlarut di atas kebutuhan ikan patin siam, menurunkan amonia hingga 0,0358 ppm/jam/L dan menekan pertumbuhan bakteri *Aeromonas hydrophila*.

Meskipun demikian, hingga saat ini masih terbatas informasi mengenai padat tebar optimum ikan koi pada sistem akuaponik yang dikombinasikan dengan teknologi FBs, khususnya yang dikaji secara terintegrasi antara performa produktivitas ikan, tanaman, serta kualitas air. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk memberikan informasi terkait hal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan padat tebar ikan koi yang optimum dalam sistem akuaponik berbasis teknologi FBs, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap performa pertumbuhan dan kesehatan ikan koi, produktivitas tanaman kangkung, dan kualitas air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis sebagai acuan pengembangan sistem akuaponik intensif yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober sampai Desember 2024 di *greenhouse* Ciparanje, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran. Pengamatan pertumbuhan ikan koi dan pertumbuhan tanaman kangkung dilakukan di Laboratorium Basah Ciparanje, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran. Uji hematologi ikan dilakukan di Laboratorium Akuakultur dan uji kualitas air dilakukan di Laboratorium Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran.

Persiapan Instalasi Akuaponik

Persiapan instalasi akuaponik dilakukan dengan menyiapkan rak besi sebagai tempat pipa PVC 4 inci. Persiapan bak pemeliharaan ikan berjumlah 16 buah bak fiber dengan ukuran 70 cm × 70 cm × 70 cm. Pemasangan pipa sirkulasi untuk menghubungkan bak pemeliharaan ikan, media

tanaman, dan bak FBs. Pompa air dipasang untuk mendorong air dari bak pemeliharaan ikan menuju media tanaman dan juga mendorong air dari bak FBs menuju bak pemeliharaan ikan. Desain instalasi dan instalasi akuaponik yang sudah tersusun ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Instalasi akuaponik.

Aklimatisasi Ikan

Ikan koi yang digunakan merupakan strain Kohaku dengan ukuran 5–7 cm yang diperoleh dari Sukabumi kemudian diaklimatisasi di bak fiber selama satu minggu untuk mencegah stres dan menurunkan tingkat kematian ikan. Pemberian pakan dilakukan selama dua kali sehari (pukul 09.00 WIB dan 15.00 WIB) agar ikan koi tetap mendapatkan asupan makanan ketika proses aklimatisasi berlangsung.

Penyiapan Tanaman Kangkung

Biji tanaman kangkung darat Bangkok LP-1 yang diperoleh dari kios tanaman Cikuda, Jatinangor kemudian dimasukkan ke dalam *rockwool* yang diletakkan di dalam nampan. Penyiraman dengan air dilakukan pada *rockwool* yang berisi bibit tanaman kangkung secara rutin pada pagi dan sore hari. Setelah bibit tanaman mencapai umur 10 hari, dilakukan pemindahan ke dalam gelas plastik dan ditempatkan ke instalasi akuaponik.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 42 hari. Ikan diberi pakan dengan *feeding rate* sebesar 5% dari total bobot tubuh ikan dengan frekuensi pemberian pakan dua kali sehari (pukul 09.00 WIB dan 15.00 WIB). Pertumbuhan ikan diamati setiap minggu secara random dengan mengambil 30% dari total populasi ikan pada setiap bak. Pertumbuhan tanaman diukur sebanyak dua kali, pada minggu ketiga dan minggu

keenam pemeliharaan. Uji hematologi ikan dilakukan sebanyak dua kali, pengujian pertama pada saat sebelum ikan masuk ke dalam perlakuan dan pengujian kedua pada akhir pemeliharaan. Parameter kualitas air seperti suhu, pH, dan oksigen terlarut (DO) diukur setiap minggu, kecuali amonia dan nitrat diukur setiap tiga minggu.

Parameter

Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan (SR)

Tingkat kelangsungan hidup ikan dihitung menggunakan rumus dari Manganang dan Mose (2019) sebagai berikut:

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Keterangan:

SR : Tingkat Kelangsungan Hidup (%)

N_t : Total ikan hidup di akhir pemeliharaan (ekor)

N_0 : Total ikan hidup di awal pemeliharaan (ekor)

Laju Pertumbuhan Spesifik Ikan (SGR)

Laju pertumbuhan spesifik ikan dihitung untuk mengetahui pertumbuhan ikan dengan menggunakan rumus dari Mulqan dkk. (2017) sebagai berikut:

$$SGR = \frac{L_n(W_T) - L_n(W_0)}{t} \times 100\%$$

Keterangan:

SGR : Laju Pertumbuhan Spesifik (% g/hari)

W_t : Rata-rata bobot ikan di akhir pemeliharaan (g)

W_0 : Rata-rata bobot ikan di awal pemeliharaan (g)

t : Lama pemeliharaan (hari)

Efisiensi Pemanfaatan Pakan (EPP)

Efisiensi Pemanfaatan Pakan (EPP) dihitung berdasarkan rumus dari Manganang dan Mose (2019) sebagai berikut:

$$EPP = \frac{W_t - W_0}{F} \times 100\%$$

Keterangan:

EPP : Efisiensi Pemanfaatan Pakan (%)

F : Total pakan yang dikonsumsi ikan (g)

W_t : Total bobot ikan di akhir pemeliharaan (g)

W_0 : Total bobot ikan di awal pemeliharaan (g)

Rasio Efisiensi Protein (PER)

Rasio Efisiensi Protein dihitung menggunakan rumus dari Bake *et al.* (2014) sebagai berikut:

$$PER = \left(\frac{W_t - W_0}{P_i} \right)$$

Keterangan:

PER : Rasio Efisiensi Protein (g)

W_t : Total bobot ikan di akhir pemeliharaan (g)

W_0 : Total bobot ikan di awal pemeliharaan (g)

P_i : Berat protein yang dikonsumsi (g)

Pertumbuhan Tanaman

Pengamatan pertumbuhan tanaman mencakup tinggi tanaman dan bobot basah tanaman. Pengamatan tinggi dan bobot basah tanaman dilakukan pada waktu panen tanaman atau pada umur 21 HST (hari setelah tanam).

Hematologi Ikan

Total sel darah merah dihitung menggunakan rumus Nabib dan Pasaribu (1989) sebagai berikut:

$$\text{Total eritrosit} = \frac{a}{n} + \frac{1}{V} \times Fp$$

Keterangan:

a : Total sel eritrosit terhitung

V : Volume *chamber haemocytometer*

n : Total *chamber haemocytometer* yang diamati

Fp : Faktor pengencer

Total sel darah putih dihitung menggunakan rumus Nabib dan Pasaribu (1989) sebagai berikut:

$$\text{Total Leukocytes} = \frac{a}{n} + \frac{1}{V} \times Fp$$

Keterangan:

a : Total sel leukosit terhitung

V : Volume *chamber haemocytometer*

n : Total *chamber haemocytometer* yang diamati

Fp : Faktor pengencer

Kadar hemoglobin dalam darah ikan ditentukan menggunakan perangkat *Easy Touch GCU*. Cara kerja alat ini adalah darah masuk ke dalam tes stik, menyebabkan reaksi antara hemoglobin dan reagen kering pada elektroda stik yang menggunakan arus listrik, secara otomatis menarik darah ke dalam ruang reaksi, dan hasilnya akan muncul dalam 10 detik.

Kualitas Air

Pengukuran kualitas air mencakup parameter fisik dan kimiawi air, yaitu suhu, pH, oksigen terlarut (DO), amonia, dan nitrat. Suhu diukur menggunakan termometer, pH diukur menggunakan pH meter, dan DO diukur menggunakan DO meter. Sementara itu,

amonia dan nitrat diukur menggunakan metode spektrofotometri.

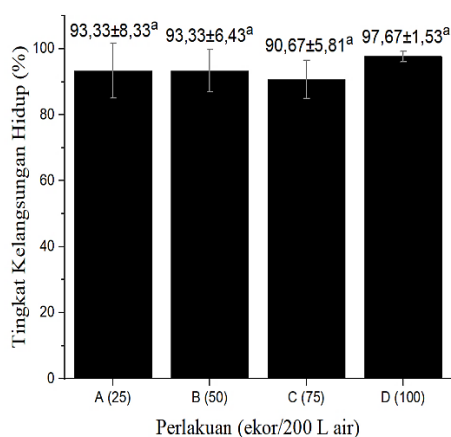
Analisis Data

Data tingkat kelangsungan hidup ikan, pertumbuhan ikan, efisiensi pakan, rasio efisiensi protein, pertumbuhan tanaman, dan hematologi ikan dianalisis menggunakan tabel *analysis of varians* (ANOVA) satu arah dengan tingkat kepercayaan 95% dan Uji Jarak Berganda Duncan jika terdapat perbedaan yang signifikan. Sementara itu, kualitas air dianalisis secara deskriptif komparatif dengan mengacu ke seperti PP RI No 22 tahun 2021.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan Koi

Tingkat kelangsungan hidup adalah perbandingan jumlah organisme yang hidup pada akhir periode dengan jumlah organisme yang hidup pada awal periode (Effendi, 2004). Menurut Samsundari dan Wirawan (2013) yang menyatakan bahwa tingkat kelangsungan hidup ikan dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik meliputi keberadaan kompetitor, parasit, kemampuan adaptasi organisme, kepadatan populasi, serta perlakuan manusia selama pemeliharaan. Sementara itu, faktor abiotik berkaitan dengan kondisi fisik dan kimiawi lingkungan perairan." Sumber: Samsundari, S, dan GA Wirawan. 2013. Analisis Penerapan Biofilter Dalam Sistem Resirkulasi Terhadap Mutu Kualitas Air Budidaya Ikan Sidat (*Anguila bicolor*). Jurnal Gamma. 8(2): 86-97.



Gambar 1. Tingkat kelangsungan hidup ikan koi yang dipelihara selama 42 hari. Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).

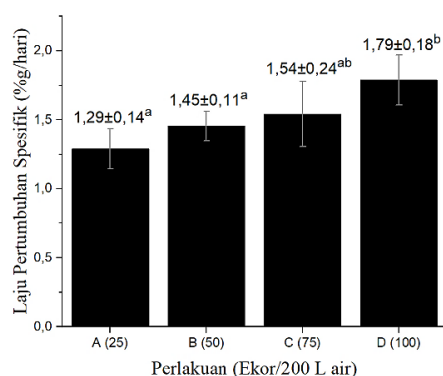
Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penggunaan FBs pada sistem akuaponik memberikan pengaruh positif terhadap kelangsungan hidup ikan koi dengan padat tebar tinggi. Terlihat pada Gambar 2 bahwa tingkat kelangsungan hidup ikan koi pada setiap perlakuan berada di atas 90%. Kelangsungan hidup yang tinggi ini disebabkan oleh adanya bantuan dari teknologi FBs yang mampu menjaga kualitas air pada wadah pemeliharaan. Hal ini sejalan dengan pendapat Primashita dkk. (2017), bahwa kualitas air berpengaruh terhadap kelangsungan hidup dan pertumbuhan ikan. Konsentrasi amonia dan oksigen terlarut adalah parameter kualitas air yang dapat berpengaruh terhadap tingkat kelulushidupan ikan. Apabila konsentrasi amonia dalam air sedikit maka ikan tidak mudah mengalami stres. Selain itu, penggunaan teknologi *microbubble* membantu dalam meningkatkan kualitas air dengan menyuplai oksigen terlarut dalam air sehingga ikan dengan kepadatan yang rendah memperoleh oksigen yang cukup (Ratulangi dkk., 2022).

Tingkat kelangsungan hidup ikan koi tertinggi pada penelitian ini sebesar 97,67%, nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan pada penelitian Saputra *et al.* (2018) yang nilai tertingginya 62% dengan padat tebar ikan koi berukuran $7,49 \pm 0,29$ cm sebesar 15 ekor/60 L air pada sistem resirkulasi. Hasil ini juga masih lebih tinggi dari penelitian Ratulangi dkk. (2022) yang menghasilkan tingkat kelangsungan hidup ikan lele berukuran 6–7 cm sebesar 88,61% dengan padat tebar 120 ekor/60 L air dengan menggunakan teknologi *microbubble*. Peningkatan kepadatan tebar yang tidak sesuai mengakibatkan terganggunya proses fisiologis dan tingkah laku ikan, sehingga dapat menurunkan pemanfaatan pakan, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup. Serta jika batas daya tahan ikan telah tercapai atau terlampaui, maka akan terjadi peningkatan stres dan memungkinkan terjadinya kematian (Nugroho dkk., 2019). Kepadatan yang tinggi juga dapat menyebabkan terjadinya gesekan antar ikan, meningkatkan kandungan amonia, dan meningkatkan karbondioksida yang dapat menyebabkan stres bahkan kematian pada ikan.

Laju Pertumbuhan Spesifik Ikan Koi

Laju pertumbuhan spesifik adalah pertambahan bobot ikan per satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam persentase pertambahan bobot ikan per hari (Saputra dkk., 2024). Nilai laju pertumbuhan spesifik dapat dipengaruhi oleh perbedaan kepadatan ikan sehingga memengaruhi

kemampuan ikan dalam mencerna makanan (Andriani *et al.*, 2018). Semakin tinggi kepadatan ikan maka ruang gerak akan semakin terbatas dan daya saing makanan yang semakin tinggi (Alfia dkk., 2013). Faktor lainnya adalah karakteristik fisik dan kimiawi air, ruang gerak, serta ketersediaan makanan baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Menurut Alfia dkk. (2013), penurunan kualitas air dapat memengaruhi nafsu makan ikan. Ketika nafsu makan berkurang, pertumbuhan ikan juga terhambat karena asupan pakan yang masuk ke dalam tubuh berkurang.



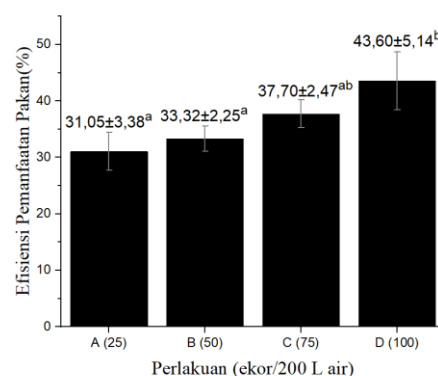
Gambar 2. Laju pertumbuhan spesifik dari ikan koi yang dipelihara selama 42 hari. Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Laju pertumbuhan spesifik yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki nilai yang berkisar dari 1,29–1,79% g/hari dengan metode pemberian pakan 5% dari total biomassa ikan sebanyak dua kali sehari, nilai tersebut lebih rendah daripada penelitian yang dilakukan oleh Saputra *et al.* (2018) tentang penggunaan *micro/nanobubble* dengan padat tebar ikan koi berukuran $7,49 \pm 0,29$ cm sebesar 15 ekor/60 L air dalam sistem resirkulasi yang menghasilkan laju pertumbuhan spesifik sebesar 2,35% g/hari dengan pemberian pakan secara *ad satiation* sebanyak tiga kali sehari. Selain itu, penelitian Saputra dkk. (2024) terkait pertumbuhan ikan koi pada sistem vertiqua biofikal atas dengan padat tebar ikan 200 ekor/200 L air menghasilkan laju pertumbuhan spesifik yang mencapai 3,39% g/hari dengan pemberian pakan secara *ad satiation* sebanyak lima kali sehari. Perbedaan nilai laju pertumbuhan spesifik pada ketiga penelitian tersebut disebabkan oleh penggunaan metode pemberian pakan yang berbeda. Sesuai dengan pernyataan Karimah dkk. (2018) bahwa pertumbuhan ikan dapat terjadi jika jumlah

nutrisi yang dimanfaatkan oleh ikan lebih besar dari jumlah yang diperlukan oleh ikan tersebut.

Efisiensi Pemanfaatan Pakan (EPP)

Efisiensi pemanfaatan pakan merupakan perbandingan antara penambahan bobot ikan yang didapatkan dengan jumlah pakan yang dikonsumsi (Juliana & Borolla, 2024). Efisiensi pakan dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya kualitas pakan, jumlah pakan, spesies ikan, ukuran ikan, dan kualitas air (Amalia, 2018).



Gambar 3. EPP dari ikan koi yang dipelihara selama 42 hari. Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).

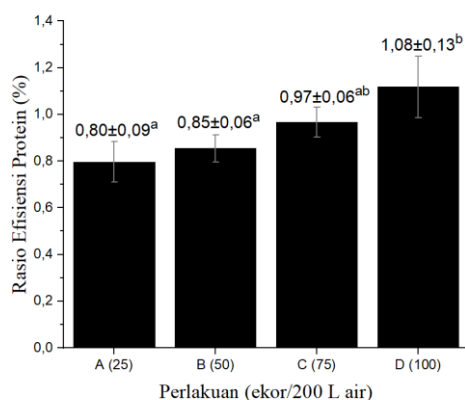
Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai efisiensi pemanfaatan pakan yaitu berkisar antara 31,05–43,60% yang ditampilkan pada Gambar 4. Hasil analisis bahwa terdapat perbedaan nyata ($P < 0,05$) antar perlakuan padat tebar terhadap EPP. Nilai EPP terendah berada pada perlakuan 25 ekor/200 L air dengan nilai sebesar 31,05%, sedangkan pertumbuhan bobot tertinggi ditunjukkan pada perlakuan 100 ekor/200 L air dengan nilai EPP sebesar 43,60%. Nilai EPP pada penelitian ini berkisar antara 31,05–43,60%. Nilai tersebut lebih rendah dari penelitian Mutia dkk. (2020) mengenai padat tebar ikan koi sebanyak 10 ekor/10 L air sampai 25 ekor/10 L air mendapatkan nilai efisiensi pemanfaatan pakan sebesar 51–71%. Menurut Tawwab (2012) nilai efisiensi pemanfaatan pakan yang rendah menunjukkan bahwa ikan memerlukan pakan dengan jumlah yang lebih banyak untuk dapat meningkatkan bobotnya karena energi dari pakan yang digunakan untuk pertumbuhan sangat kecil, selain itu kepadatan ikan dan kadar protein dalam pakan juga dapat memengaruhi efisiensi pemanfaatan pakan. Hal tersebut juga diperkuat oleh pernyataan Saputra dkk. (2024) bahwa pakan dimanfaatkan

terlebih dahulu menjadi energi untuk metabolisme, jika sudah terpenuhi maka akan dimanfaatkan untuk pertumbuhan.

EPP yang didapatkan pada penelitian ini sangat dipengaruhi oleh penggunaan FBs karena dapat memberikan kelarutan oksigen yang cukup tinggi sehingga kualitas air dapat terjaga dan nafsu makan ikan menjadi lebih baik. Hal ini didukung oleh pendapat Alfia dkk. (2013) bahwa peningkatan kualitas air akan berpengaruh terhadap nafsu makan ikan, jika kualitas air semakin baik maka nafsu makan ikan akan meningkat. Kualitas air yang normal dan sesuai dengan kisaran toleransi untuk budidaya ikan selama pemeliharaan tidak membatasi pertumbuhan, konversi pakan, dan sintasan organisme budidaya (Widarnani dkk., 2012).

Rasio Efisiensi Protein

Rasio Efisiensi Protein (PER) adalah prosedur yang digunakan untuk mengetahui hubungan peningkatan berat badan dengan jumlah protein yang dikonsumsi (Fitri dkk., 2023). PER digunakan untuk melihat efektivitas protein yang terdapat pada ransum dalam memengaruhi pertumbuhan hewan percobaan (Astawan dkk., 2015). Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai PER yaitu berkisar antara 0,80–1,08% (Gambar 5). Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata ($P>0,05$) antar perlakuan padat tebar terhadap nilai PER. Nilai PER terendah berada pada perlakuan 25 ekor/200 L air dengan nilai sebesar 0,80%, sedangkan nilai PER tertinggi ditunjukkan pada perlakuan 50 ekor/200 L air dengan nilai sebesar 1,08%.



Gambar 4. Rasio efisiensi protein ikan koi yang dipelihara selama 42 hari. Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata ($P<0,05$).

Hasil PER yang didapatkan pada penelitian berkisar antara 0,80–1,08%, hasil tersebut lebih besar daripada penelitian yang dilakukan oleh Nuwansi *et al.* (2021) tentang sistem akuaponik dengan kombinasi ikan koi dan tanaman gotukola menghasilkan nilai PER sebesar 0,5–1,08%. Menurut Rahmawan dkk. (2014) nilai PER dipengaruhi oleh kandungan protein dan bahan lain dalam bahan makanan. Keseimbangannya dalam formulasi pakan berperan penting dalam pertumbuhan dan ketahanan tubuh ikan. Protein merupakan nutrisi utama yang dibutuhkan oleh ikan, sehingga penting untuk memanfaatkan protein dalam pakan secara optimal demi mendukung pertumbuhan. Tinggi rendahnya nilai rasio efisiensi protein juga dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas nutrisi yang terkandung pada pakan karena nutrisi yang terkandung dalam pakan berpengaruh terhadap pertumbuhan ikan (Li *et al.*, 2012). Menurut Taqwdasbriliani dkk. (2013), tingkat pencernaan pakan oleh ikan berpengaruh terhadap nilai rasio efisiensi protein. Faktor yang memengaruhi antara lain adalah konsumsi pakan. Semakin banyak pakan yang dikonsumsi maka semakin efisien penggunaannya, semakin besar juga jumlah protein yang dapat diserap dan disimpan oleh tubuh ikan. Jenis dan umur ikan menentukan jumlah kebutuhan protein. Umumnya ikan membutuhkan protein sebesar 20–60% dan optimalnya berada pada kisaran 30–36% (Djonu dkk., 2020).

Pertumbuhan Tanaman Kangkung

Pada sistem akuaponik, tanaman berperan dalam mengurangi zat organik dengan memanfaatkan limbah yang dihasilkan oleh ikan (Yang & Kim, 2019). Dalam kondisi tersebut, tanaman berfungsi sebagai biofilter yang dapat menguraikan zat beracun menjadi zat tidak berbahaya bagi ikan, serta memasok oksigen ke dalam air untuk pemeliharaan ikan (Zidni *et al.*, 2019). Pertumbuhan tanaman kangkung di dalam akuaponik selama penelitian yaitu 21 hari pemeliharaan atau panen pada umur 21 HST dan dilakukan dua siklus pemeliharaan. Nilai pertumbuhan kangkung selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 1. Tinggi tanaman kangkung terbaik pada siklus pertama yaitu pada perlakuan 75 ekor/200 L air dengan nilai 35,6 cm sedangkan pada siklus kedua berada pada perlakuan 100 ekor/200 L air dengan nilai 38,7 cm. Bobot tanaman kangkung pada siklus pertama didapatkan nilai terberat pada perlakuan 100 ekor/200 L air dengan bobot sebesar

7,7 g sedangkan pada siklus kedua didapatkan bobot terberat sebesar 11,5 g.

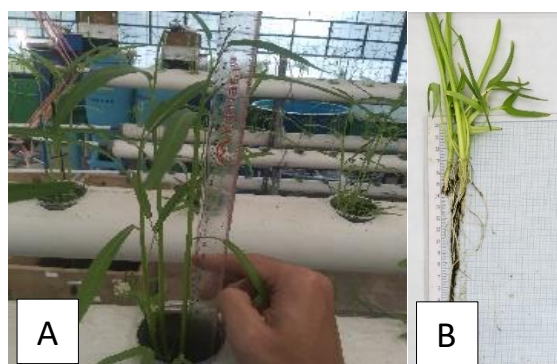
Pertumbuhan tanaman kangkung tertinggi dihasilkan pada siklus kedua dengan tinggi tanaman yang mencapai $38,7 \pm 1,7$ cm dan bobot tanaman yang mencapai $11,5 \pm 1,0$ g. Hal ini terjadi karena pada siklus kedua tanaman kangkung mendapatkan nutrisi lebih besar jika dibandingkan siklus pertama. Hal ini sejalan dengan Alfatihah dkk. (2023) yang

menyatakan selama masa pemeliharaan tanaman kangkung mampu memanfaatkan nutrisi yang ada pada media akuaponik untuk pertumbuhannya, karena kangkung memiliki sistem perakaran yang tunggang dan bercabang ke segala arah yang memungkinkan dapat menyerap nutrisi pada kotoran ikan untuk proses pertumbuhannya (Gambar 6).

Tabel 1. Pertumbuhan tanaman kangkung sebanyak dua siklus dalam 42 hari

Perlakuan (ekor/200 L air)	Parameter			
	Tinggi (cm)		Bobot (g)	
	I	II	I	II
A (25)	$24,7 \pm 2,2^a$	$27,8 \pm 2,0^a$	$5,8 \pm 0,7^a$	$6,2 \pm 0,2^a$
B (50)	$26,1 \pm 1,2^a$	$29,0 \pm 0,9^a$	$6,3 \pm 0,5^a$	$7,6 \pm 0,5^b$
C (75)	$35,6 \pm 1,2^c$	$37,4 \pm 0,4^c$	$7,3 \pm 0,2^c$	$9,4 \pm 0,1^c$
D (100)	$32,3 \pm 2,0^{bc}$	$38,7 \pm 1,7^{bc}$	$7,7 \pm 0,1^{bc}$	$11,5 \pm 1,0^d$

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).



Gambar 5. Pertumbuhan tanaman kangkung, (A) pengukuran tinggi tanaman, (B) perakaran kangkung yang ditanam pada akuaponik.

Padat tebar ikan juga dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman kangkung karena semakin tinggi kepadatan maka semakin tinggi juga feses yang dihasilkan untuk pertumbuhan tanaman kangkung. Hal ini sejalan dengan penelitian Fanani dkk. (2018) bahwa perlakuan padat tebar lele berpengaruh nyata dalam meningkatkan kandungan amonia dalam media budikdamber, sehingga amonia berupa feses ikan atau sisa pakan dapat dimanfaatkan oleh tanaman sebagai nutrisi untuk menunjang pertumbuhannya. Nutrien yang berasal dari feses ikan dan sisa pakan terurai menjadi nutrisi anorganik di dalam air sehingga dapat diserap oleh tanaman sebagai sumber hara nutrisi (Zahidah dkk., 2017). Menurut Khodijah dkk. (2022) pada saat

kekurangan nutrisi, pertumbuhan tanaman cenderung terhambat.

Hematologi Ikan

Hematologi merupakan kajian yang biasa digunakan dalam mengetahui kondisi darah dan komponennya untuk menggambarkan kualitas hidup dari suatu individu. Studi hematologi ini bisa dilakukan pada ikan, untuk mendeteksi perubahan fisiologis yang disebabkan oleh stres lingkungan dan juga berhubungan dengan status kesehatan ikan. Variabel hematologi yang paling umum diukur selama stres meliputi jumlah sel darah merah dan putih, kadar hemoglobin, nilai hematokrit, dan indeks sel darah merah (Al-Attar, 2005). Pengamatan kondisi hematologi ikan yang dibudidayakan sebagai sistem pertahanan non spesifik dapat dilakukan untuk mengetahui kondisi kesehatan sebagai deteksi awal dalam diagnosis penyakit ikan, sehingga upaya pengobatan dan pencegahan penyakit dapat dilakukan. Setiap jenis ikan memiliki nilai parameter hematologi yang bervariasi tergantung dari spesies, umur, ukuran dan jenis kelamin ikan, kondisi lingkungan serta adanya serangan mikroorganisme patogen (Lukistyowati, 2015).

Nilai rata-rata eritrosit, leukosit, dan hemoglobin ikan koi dicantumkan pada Tabel 2. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai rata-rata eritrosit ikan koi yang berbeda dari setiap perlakuan dengan kisaran nilai yaitu $24,28 \times 10^5 - 28,05 \times 10^5$ sel/mm³ ($P < 0,05$). Nilai rata-rata leukosit ikan koi pada penelitian ini menunjukkan nilai rata rata yang tidak

berbeda nyata dari setiap perlakuan dengan kisaran nilai yaitu $21,5 \times 10^4 - 25,9 \times 10^4$ sel/mm³ ($P < 0,05$). Nilai rata-rata hemoglobin ikan koi berkisar antara 10,3–12,7 g/dL.

Tabel 2. Hematologi ikan koi yang dipelihara selama 42 hari

Parameter	Perlakuan (ekor/200 L)			
	A (25)	B (50)	C (75)	D (100)
Eritrosit ($\times 10^4$ sel/mm ³)	25,83 \pm 0,89 ^{ab}	28,05 \pm 0,55 ^d	24,28 \pm 1,33 ^a	26,01 \pm 0,7 ^{bc}
Leukosit ($\times 10^5$ sel/mm ³)	23,74 \pm 1,8 ^a	21,5 \pm 2,5 ^a	24,91 \pm 2,9 ^a	25,92 \pm 1, ^a
Hemoglobin (g/dL)	10,3 \pm 0,36 ^a	11,2 \pm 0,85 ^{ab}	10,7 \pm 2,36 ^{ab}	12,7 \pm 1,44 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan hasil penelitian, eritrosit terbaik terdapat pada perlakuan 75 ekor/200 L air yang memiliki nilai eritrosit terendah sebesar $24,28 \times 10^5$ sel/mm³. Menurut Preanger dkk. (2016), kadar eritrosit yang semakin tinggi dan tidak sesuai kisaran normal menandakan bahwa ikan dalam keadaan stres. Tingginya nilai eritrosit pada perlakuan 25, 50, dan 100 ekor/200 L air dapat diduga karena ikan yang dipelihara terinfeksi parasit seperti *Argulus* sp (Gambar 7). Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Panjvini *et al.* (2016) yang menunjukkan bahwa infeksi parasit *Lernaea* sp. dan *Argulus* sp. dapat menyebabkan peningkatan jumlah eritrosit pada ikan. Hal ini terjadi sebagai respons terhadap kehilangan darah yang disebabkan oleh parasit yang mengisap darah sehingga *Eritropoiesis* (proses pembentukan sel darah merah) dirangsang oleh tubuh untuk mengkompensasi kehilangan darah tersebut.



Gambar 6. Parasit *Argulus* sp. pada benih ikan.

Berdasarkan hasil penelitian, jumlah leukosit berada pada kisaran tidak normal karena menunjukkan adanya peningkatan jumlah leukosit yang cukup signifikan antara sebelum masuk perlakuan dan sesudah masuk perlakuan. Menurut Yanto dkk. (2015) jumlah leukosit normal pada ikan

mas (*Cyprinus carpio*) yang berumur dua bulan berkisar antara $89,65 \times 10^3 - 94,30 \times 10^3$ sel/mm³.” Sumber: Yanto, H, H Hasan, dan Sunarto. 2015. Studi Hematologi Untuk Diagnosa Penyakit Ikan Secara Dini di Sentra Produksi Budidaya Ikan Air Tawar Sungai Kapuas Kota Pontianak. Jurnal Akuatika. 6(1): 11-20. Peningkatan yang berlebihan dalam jumlah leukosit disebut *leukositosis*, yaitu respon tubuh ikan untuk melawan patogen atau stres yang mengganggu kesehatan ikan. Peningkatan kadar leukosit yang tinggi pada penelitian ini diduga terjadi karena infeksi parasit *Argulus* sp. yang menyerang ikan koi. Hasil yang didapatkan sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yanto dkk. (2015), bahwa infeksi oleh parasit menyebabkan peningkatan yang signifikan pada jumlah leukosit pada ikan. Peningkatan ini berhubungan dengan respon imun ikan terhadap keberadaan parasit, karena leukosit berfungsi dalam mempertahankan tubuh dari invasi patogen.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai hemoglobin meningkat sejalan dengan tingginya padat tebar. Hal tersebut terjadi karena ikan mempertahankan keseimbangan oksigen dalam tubuh sehingga ikan yang dipelihara dengan padat tebar tinggi akan berusaha mengompensasi kondisi kekurangan oksigen dengan meningkatkan kadar hemoglobin. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas darah dalam mengangkut oksigen ke seluruh tubuh untuk menjaga metabolisme ikan. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yarahmadi *et al.* (2015) dilakukan pengujian pengaruh padat tebar terhadap kadar hemoglobin pada ikan. Hasil penelitian menemukan bahwa ikan yang dipelihara dalam kondisi padat tebar yang tinggi memiliki kadar hemoglobin yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa ikan mengompensasi kekurangan oksigen terlarut akibat kompetisi konsumsi oksigen antar ikan. Kadar hemoglobin tertinggi terdapat pada perlakuan 100 ekor/200 L air.

Hal tersebut terjadi karena pada tersebut memiliki padat tebar yang paling tinggi dan memiliki kadar oksigen terlarut yang rendah. Oleh karena itu, kadar oksigen yang rendah akan menstimulasi pembentukan sel-sel darah merah baru ke dalam darah sehingga meningkatkan kadar hemoglobin dan juga meningkatkan kadar eritrosit (Lavabetha dkk., 2015).

Kualitas Air

Hasil pengukuran fisik dan kimiawi kualitas air selama pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengukuran suhu pada penelitian ini masih

cocok untuk pemeliharaan ikan koi karena masih berada pada kisaran batas normal berdasarkan SNI 77334-2017 dengan kisaran 20–28 °C. Suhu air memengaruhi seluruh aktivitas dan proses kehidupan ikan seperti respirasi, reproduksi, dan pertumbuhan, selain itu suhu memengaruhi nafsu makan, laju pencernaan dan laju metabolisme yang selanjutnya memengaruhi laju pertumbuhan ikan (Burggren *et al.*, 2019). Suhu pada bak pemeliharaan benih ikan tergolong baik. Adanya perbedaan antara suhu dipengaruhi oleh tingkat intensitas cahaya, cuaca dan panasnya matahari.

Tabel 3. Data fisik dan kimiawi kualitas air selama pemeliharaan

Parameter	Perlakuan (ekor/200 L air)				Kisaran batas normal
	A (25)	B (50)	C (75)	D (100)	
Suhu (°C)	27,5	27,9	27,6	27,3	20–28 (SNI 77334-2017)
DO (mg/L)	6,9	6,7	6,6	6,6	≥5 (SNI 77334-2017)
pH	8,7	8,5	8,1	8,2	6,5–8 (SNI 77334-2017)
NH ₃ (mg/L)	0,054	0,054	0,046	0,051	<0,03 (SNI 77334-2017)
NO ₃ (mg/L)	0,121	0,080	0,118	0,105	≤20 (PP RI No. 22 Tahun 2021 Kelas II)

Konsentrasi oksigen terlarut pada penelitian ini masih berada pada kisaran normal jika dibandingkan dengan SNI 77334–2017 dengan kisaran >5 mg/L. Hal ini karena dengan menggunakan FBs dapat menghasilkan oksigen yang tinggi dengan ukuran gelembung yang kecil. Semakin kecil diameter gelembung akan meningkatkan ketahanan gelembung berada di dalam air dan pada akhirnya akan meningkatkan transfer gas dan kelarutan oksigen terlarut (Marui, 2013). Oksigen terlarut dalam pemeliharaan ikan penting dan harus berada pada kisaran yang optimal. Hal tersebut dikarenakan jika nilai DO tidak optimal akan menyebabkan ikan stres (Siegers dkk., 2019). Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua makhluk hidup yaitu digunakan untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan.

Hasil pengukuran pH pada penelitian ini melebihi batas kisaran normal pemeliharaan ikan koi berdasarkan SNI 77334–2017. Nilai pH yang tinggi pada setiap perlakuan mengindikasikan adanya proses fotosintesis mikroalga yang menghasilkan DO sehingga nilai pH pada wadah pemeliharaan meningkat. Nilai pH dapat memengaruhi laju metabolisme dan pertumbuhan ikan selama pemeliharaan. Nilai pH dapat memengaruhi toksisitas suatu senyawa kimia. Nilai pH yang tinggi dalam air

menyebabkan amonia tidak terionisasi dan bersifat toksik (Silaban dkk., 2012). Meningkatnya nilai rata-rata pH juga dapat disebabkan oleh konsentrasi karbondioksida dalam perairan. Perairan dengan segala aktivitas fotosintesis dan respirasi organisme yang hidup di dalamnya yang juga dapat berpengaruh pada pertumbuhan ikan (Andayani dkk., 2022).

Konsentrasi amonia pada penelitian ini masih melebihi batas kisaran normal pemeliharaan ikan koi berdasarkan SNI 77334–2017. Menurut Effendi (2003) tingkat toksisitas amonia pada organisme akuatik akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai pH dan suhu air dan pada saat penurunan konsentrasi oksigen terlarut pada media budidaya ikan. Menurut Romano dan Zeng (2013) kandungan amonia pada media budidaya ikan sangat berbahaya bagi kelangsungan hidup ikan serta pada lingkungan sekitar yang menerima limbah hasil budidaya. Tetapi Buzby dan Lian (2014) menyatakan bahwa amonia dan nitrat merupakan nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman melalui proses fitoremediasi oleh akar tanaman. Selain itu dengan penambahan FBs, konsentrasi amonia dapat diturunkan, sesuai penelitian sebelumnya bahwa penggunaan FBs mampu menurunkan konsentrasi amonia pada pemeliharaan benih ikan patin dengan penurunan amonia sebesar 0,0358 mg/L (Subhan *et al.*, 2018).

Konsentrasi nitrat pada penelitian ini masih berada pada ambang batas kisaran normal berdasarkan PP RI No. 22 Tahun 2021 Kelas II. Nitrat merupakan bentuk nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman melalui proses fitoremediasi. Selama penelitian terlihat bahwa tanaman kangkung cukup efektif dalam penyerapan nitrat. Hal ini ditandai dengan rendahnya konsentrasi nitrat selama pemeliharaan. Terjadinya penurunan konsentrasi nitrat yang berada pada media pemeliharaan ikan disebabkan oleh adanya penyerapan oleh akar tanaman (Zidni dkk., 2013). Tanaman pada sistem akuaponik memberikan peran biofilter dengan memanfaatkan nutrisi yang berasal dari limbah budidaya. Akar tanaman juga menjadi media tumbuh bakteri nitrifikasi, yang membantu mereduksi amonia dan menyediakan nitrat yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan (Zidni dkk., 2019).

SIMPULAN

Perbedaan padat tebar ikan koi dalam sistem akuaponik dengan aplikasi teknologi *fine bubbles* (FBs) terbukti berpengaruh terhadap performa produktivitas ikan koi dan produktivitas tanaman kangkung. Padat tebar 75 ekor/200 L air merupakan perlakuan optimum yang menghasilkan kinerja terbaik, ditunjukkan oleh tingkat kelangsungan hidup yang mencapai 90,67%, laju pertumbuhan spesifik sebesar 1,54% g/hari, efisiensi pemanfaatan pakan hingga 49,68%, serta rasio efisiensi protein sebesar 1,12%. Kondisi kesehatan ikan pada perlakuan ini juga relatif stabil, tercermin dari nilai eritrosit, leukosit, dan hemoglobin yang masih berada pada kisaran toleransi fisiologis ikan koi. Selain itu, padat tebar tersebut mampu mendukung produktivitas tanaman kangkung dengan tinggi tanaman mencapai 38,7 cm dan bobot basah yang mencapai 11,5 g. Penerapan teknologi FBs berperan penting dalam menjaga kualitas air tetap layak selama pemeliharaan, sehingga memungkinkan penerapan padat tebar yang lebih tinggi secara berkelanjutan pada sistem akuaponik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A, Ng WJ, and Y Liu. 2011. Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*. 84(9): 1175–1180. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.05.054.
- Al-Attar, AM. 2005. Changes in haematological parameters of the fish, *Oreochromis niloticus* treated with sublethal concentration of cadmium. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 8(3): 421–424. DOI: 10.3923/pjbs.2005.421.424.
- Alfatihah, A, H Latuconsina, dan DH Prasetyo. 2023. Pertumbuhan tanaman kangkung (*Ipomoea reptans* Poir) dan Pakcoy (*Brassica rapa* Linnaeus) pada sistem budidaya akuaponik. *Jurnal Riset Perikanan dan Kelautan*. 5(2): 88–97.
- Alfia, AR, E Arini, dan T Elfitasari. 2013. Pengaruh kepadatan yang berbeda terhadap kelulushidupan dan pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada sistem resirkulasi dengan filter *bioball*. *Journal of Aquaculture Management and Technology*. 2(3): 86–93.
- Amalia, R, A. Amrullah, dan S. Suriati. 2018. Manajemen pemberian pakan pada pembesaran ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. Hlm. 252–257.
- Andayani, S, H Suprastyani, Sa'adati, dan CD Agustina. 2022. Analisis kesehatan ikan berdasarkan kualitas air pada budidaya ikan koi (*Cyprinus* sp.) sistem resirkulasi. *Journal of Fisheries and Marine Research*. 6(3): 20–26.
- Andriani, Y, Zahidah, Y Dhahiyat, U Subhan, I Zidni, RI Pratama, and NP Gumay. 2018. the effectiveness of the use of filter on the tilapia growth performance, number of *nitrosomonas* sp. and water quality in aquaponics systems. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 17(1): 1–8. DOI: 10.19027/jai.17.1.1-8.
- Andriani, Y, Zahidah, DA Anando, and RI Pratama. 2023. Productivity of comet goldfish (*Carassius auratus*) cultured in aquaponics system using fine bubbles (FBs). *Aceh Journal of Animal Science*. 8(3): 121–128.
- Astawan, M, T Wresdiyati, dan AM Saragih. 2015. Evaluasi mutu protein tepung tempe dan tepung kedelai rebus pada tikus percobaan. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*. 2(1): 11–17.
- Bake, GG, EI Martins, and SOE Sadiku. 2014. Nutritional evaluation of varying of cooked flamboyant seed meal (*Delonix regia*) on the growth performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

- fingerlings. *Agriculture, Forestry and Fisheries*. 3(4): 233–239. DOI: 10.11648/j.aff.20140304.14.
- Burggren, WW, JF Mendez-Sanchez, M Bautista, Peña, EM García, and CA González. 2019. Developmental changes in oxygen consumption and hypoxia tolerance in the heat and hypoxia-adapted tabasco line of the nile tilapia *Oreochromis niloticus*, with a survey of the metabolic literature for the genus *Oreochromis*. *Journal of Fish Biology*. 94(5): 732–744. DOI: 10.1111/jfb.13945.
- Buzby, KM, and SL Lian. 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*. 63: 39–44. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2014.09.002.
- Djonu, A, S Andayani, dan H Nursyam. 2020. Pengaruh penambahan daun kelor (*Moringa oleifera*) terfermentasi *Rhizopus oligosporus* terhadap kandungan nutrisi pakan ikan. *Jurnal Akuatik*. 3(2): 73–78. DOI: 10.35508/akuatik.v3i2.3267.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Kanisius. Yogyakarta.
- Effendi, I. 2004. Pengantar Akuakultur. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Fanani, AN, BS Rahardja, dan Prayogo. 2018. Efek padat tebar ikan lele dumbo (*Clarias* sp.) yang berbeda terhadap kandungan amonia (NH₃) dan nitrit (NO₂) dengan sistem bioflok. *Journal of Aquaculture Science*. 3(2): 182–190.
- Fitri, A, SU Nurdin, A Sukohar, Subeki, dan S Rizal. 2023. Daya cerna protein dan rasio efisiensi protein nasi herbal pada tikus percobaan yang diberi pakan tinggi lemak. *Jurnal Agroindustri Halal*. 9(2): 130–139.
- Folnuari, S, SAE Rahimi, dan I Rusydi. 2017. Pengaruh padat tebar yang berbeda terhadap kelangsungan hidup dan pertumbuhan ikan kerapu cantang (*Epinephelus fuscoguttatus-lanceolatus*) pada teknologi KJA HDPE. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*. 2(2): 310–318.
- Hao, Y, K Ding, Y Xu, Y Tang, L Dong, and G Li. 2020. States, trends and future of aquaponics research. *Sustainability*. 12(18): 7783. DOI: 10.3390/su12187783.
- Juliana, dan HDJ Borolla. 2024. Pengaruh adaptasi pakan terhadap efisiensi dan konversi pakan benih ikan nemo (*Amphiprion* sp.). *Manfish: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Peternakan*. 2(1): 1–12. DOI: 10.62951/manfish.v2i1.39.
- Karimah, U, I Samidjan, dan Pinandoyo. 2018. Performa pertumbuhan dan kelulushidupan ikan nila GIFT (*Oreochromis niloticus*) yang diberi jumlah pakan yang berbeda. *Journal of Aquaculture Management and Technology*. 7(1): 128–135.
- Khodijah, NS, R Arisandi, HM Saputra, dan R Santi. 2022. Pertumbuhan dan hasil kangkung akuaponik dengan perlakuan berbagai jenis pupuk foliar dan padat tebar lele pada sistem budikdamber lele-kangkung. *Jurnal Kultivasi*. 21(1): 105–112. DOI: 10.24198/kultivasi.v21i1.37436.
- Kifly, I Hadid, dan HS Baso. 2020. Pengaruh ketinggian air terhadap konsumsi oksigen larva ikan mas koi (*Cyprinus carpio*). *Fisheries of Wallacea Journal*. 1(2): 77–83. DOI: 10.55113/fwj.v1i2.582.
- Kusrini, ES, Cindelas, dan AB Prasetyo. 2015. Pengembangan budidaya ikan hias koi (*Cyprinus carpio*) lokal di Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Ikan Hias Depok. *Media Akuakultur*. 10(2): 71–78. DOI: 10.15578/ma.10.2.2015.71-78.
- Lavabetha, ARR, Hidayaturrahmah, Muhamat, dan SH Budi. 2015. Profil darah ikan timpakul. *Journal of Bioscientiae*. 12(2): 78–89. DOI: 10.20527/jps.v7i2.8465.
- Li, MH, EH Robinson, DF Oberle, PM Lucas, and BG Bosworth. 2012. Evaluation of corn gluten feed and cottonseed meal as partial replacements for soybean meal and corn in diets for pond-raised hybrid catfish, *Ictalurus punctatus* x *I. furcatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 43(1): 107–113. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2011.00542.x.
- Lukistyowati, I. 2015. Teknik Pemeriksaan Penyakit Ikan. Unri Press. Pekanbaru.
- Manganang, YAP, dan NI Mose. 2019. Efisiensi dan laju pertumbuhan relatif ikan bawal (*Colossoma macropomum*) yang diberi pakan buatan berbahan tepung *Lemna minor* Fermentasi. *Jurnal MIPA*. 8(3): 116–121. DOI: 10.35799/jmuo.8.3.2019.25966.
- Marui, T. 2013. An introduction to micro/nano bubbles and their application. *Journal of Systemics, Cybernetics, and Informatics*. 11(4): 68–73.
- Mulqan, M, SAE Rahimi, dan I Dewiyanti. 2017. Pertumbuhan dan kelangsungan hidup benih

- ikan nila gesit (*Oreochromis niloticus*) pada sistem akuaponik dengan jenis tanaman yang berbeda. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah. 2(1): 183–193.
- Mutia, Hanisah, dan MF Isma. 2020. Pengaruh perbedaan padat tebar terhadap pertumbuhan dan kelulushidupan ikan koi (*Cyprinus carpio*). Jurnal Ilmiah Samudra Akuatika. 4(2): 50–57. DOI: 10.33059/jisa.v4i2.3066.
- Nabib, R, dan FH Pasaribu. 1989. Patologi dan Penyakit Ikan. UPT Produksi Media Informasi LSI IPB. Bogor.
- Nugroho, A, M Sugihartono, dan M Ghofur. 2019. Laju pertumbuhan larva ikan koan (*Ctenopharyngodon idella*) dengan kepadatan yang berbeda. Jurnal Akuakultur Sungai dan Danau. 4(2): 35–39. DOI: 10.33087/akuakultur.v4i2.55.
- Nuwansi, KKT, AK Verma, G Rathore, C Prakasha, MH Chandrakant, and GPWA Prabhath. 2019. Utilization of phytoremediated aquaculture wastewater for production of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponics. Aquaculture. 507: 361–369. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.053.
- Panjvini, F, S Abarghuei, H Khara, and HM Parashkoh. 2016. Parasitic infection alters haematology and immunity parameters of common carp, *Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758. Journal of Parasitic Diseases. 40(4): 1540–1543. DOI: 10.1007/s12639-015-0723-8.
- Preanger, C, IH Utama, dan IM Kardenia. 2016. Gambaran ulas darah ikan lele di Denpasar Bali. Indonesia Medicus Veterinus. 5(2): 96–103.
- Primashita, AH, SR Boedi, dan Prayogo. 2017. Pengaruh pemberian probiotik berbeda dalam sistem akuaponik terhadap laju pertumbuhan dan survival rate ikan lele (*Clarias* sp.). Journal of Aquaculture Since. 1(1): 1–9.
- Rahmawan, H, Subandiyono, dan E Arini. 2014. Pengaruh penambahan ekstrak pepaya dan ekstrak nanas terhadap tingkat pemanfaatan protein pakan dan pertumbuhan lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*). Journal of Aquaculture Management and Technology 3(4): 75–83.
- Ratulangi, M, B Junaidi, dan BDH Setyono. 2022. Performa pertumbuhan ikan lele (*Clarias* sp.) pada budidaya teknologi microbubble dengan padat tebar yang berbeda. Jurnal Perikanan Unram. 12(4): 544–554. DOI: 10.29303/jp.v12i4.365.
- Romano, N, and C Zeng. 2013. Toxic effects of amonia, nitrite, and nitrate to decapod crustaceans: A review on factors influencing their toxicity, physiological consequences, and coping mechanisms. Reviews in Fisheries Science. 21(1): 1–21. DOI: 10.1080/10641262.2012.753404.
- Saputra, HK, K Nirmala, E Supriyono, and NT Rochman. 2018. Micro/Nano Bubble Technology : Characteristics and Implications Biology Performance of Koi *Cyprinus carpio* in Recirculation Aquaculture System (RAS). Omni-Akuatika. 14(2): 29–36. DOI: 10.20884/1.oa.2018.14.2.539.
- Saputra, KCD, U Dindin, dan MZ Novita. 2024. Pertumbuhan ikan koi (*Cyprinus rubrofusus*) pada sistem vertiqua biofikal atas. Habitat: Jurnal Ilmiah Ilmu Hewani dan Peternakan. 2(2): 69–82. DOI: 10.62951/habitat.v2i2.63.
- Shiyang, ZL, T Gu, Ling, and L Xiaoli. 2013. Impact of different aeration approaches on dissolved oxygen for intensive culture ponds. transaction of the chinese society of agricultural engineering. 29(17): 169–172. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.17.022.
- Siegers, WH, Y Prayitno, dan A Sari. 2019. Pengaruh kualitas air terhadap pertumbuhan ikan nila nirwana (*Oreochromis* sp.) pada tambak payau. The Journal of Fisheries Development. 3(2): 95–104.
- Silaban, TF, L Santoso, dan Suparmono. 2012. Pengaruh penambahan zeolit dalam peningkatan kinerja filter air untuk menurunkan konsentrasi amoniak pada pemeliharaan ikan mas (*Cyprinus carpio*). Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan. 1(1): 47–56.
- Subhan, U, V Muthukannan, SY Azhary, MF Mulhadi, E Rochima, C Panatarani, and IM Joni. 2018. Development and performance evaluation of air fine bubbles on water quality of thai catfish rearing. AIP Conference Proceedings. 1927: 030043. DOI: 10.1063/1.5021236.
- Taqwdasbriliani, EB, J Hutabarat, dan E Arini. 2013. Pengaruh kombinasi enzim papain dan enzim bromelin terhadap pemanfaatan pakan dan pertumbuhan ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*). Journal of

- Aquaculture Management and Technology. 2(3): 76–85.
- Tawwab, MA. 2012. Effect of dietary protein levels and rearing density on growth performance and stress response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). International Aquatic Research. 4(3): 1–13. DOI: 10.1186/2008-6970-4-3.
- Widarnani, D Wahjuningrum, dan F Puspita. 2012. Aplikasi bakteri probiotik melalui pakan buatan untuk meningkatkan kinerja pertumbuhan udang windu (*Penaeus monodon*). Jurnal Sains Terapan. Edisi II. 2(1): 32–49. DOI: 10.29244/jstsv.2.1.19-29.
- Yang, T, and HK Kim. 2019. Nutrien Management Regime Affects Water Quality, Crop Growth, and Nitrogen Use Efficiency of Aquaponic Systems. Scientia Horticulturae. 256: 108619. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108619.
- Yanto, H, H Hasan, dan Sunarto. 2015. Studi hematologi untuk diagnosa penyakit ikan secara dini di sentra produksi budidaya ikan air tawar sungai Kapuas Kota Pontianak. Jurnal Akuatika. 6(1): 11–20.
- Yarahmadi, P, HK Miandare, SH Hoseinifar, N Gheysvandi, and A Akbarzadeh. 2015. The effects of stocking density on hemato-immunological and serum biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture International. 23(1): 55–63. DOI: 10.1007/s10499-014-9797-z.
- Yep, B, and Y Zheng. 2019. Aquaponic trends and challenges: A review. Journal of Cleaner Production. 228: 1586–1599. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.290.
- Zahidah, H, Y Andriani, Y Dhahiyat, A Sahidin, dan MR Rubiansyah. 2017. Pertumbuhan tiga jenis ikan dan kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*) yang dipelihara dengan sistem akuaponik. Jurnal Iktiologi Indonesia 17(2): 175–184. DOI: 10.32491/jii.v17i2.357.
- Zahidah, Y Dhahiyat, Y Andriani, A Sahidin, and I Farizi. 2018. Impact of red water system (RWS) application on water quality of catfish culture using aquaponics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 139(1): 012009. DOI: 10.1088/1755-1315/139/1/012009.
- Zidni, I, T Herawati, dan E Liviawaty. 2013. Pengaruh padat tebar terhadap pertumbuhan benih lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*) dalam sistem akuaponik. Jurnal Perikanan Kelautan. 4(4): 315–324.
- Zidni, I, Iskandar, A Rizal, Y Andriani, dan R Ramadan. 2019. Efektivitas sistem akuaponik dengan jenis tanaman yang berbeda terhadap kualitas air media budidaya ikan. Jurnal Perikanan dan Kelautan. 9(1): 81–94.
- Zidni, I, Iskandar, ID Buwono, and BP Mahargyani. 2019. Water Quality in the Cultivation of Catfish *Clarias gariepinus* and Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* in the Aquaponic Biofloc System. Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research. 4(2): 1–6. DOI: 10.9734/ajfar/2019/v4i230048.