



Pengaruh diameter diffuser rakitan terhadap kualitas air dan performa pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

The effect of assembled diffuser diameter on water quality and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Received: 20 June 2025, Revised: 11 August 2025, Accepted: 29 August 2025

DOI: 10.29103/aa.v12i3.22380

Hias Anjarkasi^{a*}, Eko Dewantoro^a, dan Tuti Puji Lestari^a

^a Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Muhammadiyah Pontianak

Abstrak

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu komoditas unggulan dalam sektor perikanan budidaya di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat. Keberhasilan budidaya ikan nila sangat dipengaruhi oleh kualitas air yang optimal, terutama parameter oksigen terlarut yang berperan penting dalam mendukung metabolisme dan pertumbuhan ikan. Salah satu teknologi yang digunakan untuk menjaga kadar oksigen dalam air adalah sistem aerator difusi, di mana efektivitasnya dipengaruhi oleh desain dan diameter diffuser. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter diffuser terhadap kualitas air dan performa pertumbuhan ikan nila, serta menentukan diameter diffuser yang paling efektif. Penelitian dilaksanakan selama 45 hari menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan enam perlakuan dan tiga ulangan: (A) batu aerasi (kontrol), dan diffuser rakitan dari ban bekas berdiameter (B) 1 inci, (C) 2 inci, (D) 3 inci, (E) 4 inci, dan (F) 5 inci. Parameter kualitas air yang diamati meliputi suhu, pH, DO, amonia, nitrit, dan alkalinitas, sedangkan parameter pertumbuhan mencakup laju pertumbuhan harian, konsumsi pakan, rasio konversi pakan (FCR), dan kelangsungan hidup. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun kualitas air berada dalam kisaran optimal, variasi diameter diffuser tidak memberikan pengaruh signifikan ($p > 0,05$) terhadap performa pertumbuhan ikan nila. Oleh karena itu, diffuser rakitan dari ban bekas dinilai sebagai alternatif aerasi yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan dalam budidaya ikan nila.

Kata kunci: Aerasi; Budidaya Perikanan; Diffuser Rakitan; Ikan Nila; Kualitas Air; Pertumbuhan Ikan

Abstract

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is one of the leading aquaculture commodities in Indonesia, valued for its high economic potential and growing market demand. The success of tilapia farming is highly influenced by optimal water quality, particularly the level of dissolved oxygen (DO), which plays a crucial role in supporting the metabolic and physiological processes of the fish. One commonly used technology to maintain DO levels is the diffusion aerator system, whose efficiency is strongly affected by the design and diameter of the diffuser. This study aimed to analyze the effect of diffuser diameter variation on water quality and tilapia growth performance, and to determine the most effective diameter for maintaining optimal rearing conditions. The experiment was conducted over 45 days using a completely randomized design (CRD) consisting of six treatments and three replications: (A) stone aerator (control), and custom-made diffusers constructed from used tires with diameters of (B) 1 inch, (C) 2 inches, (D) 3 inches, (E) 4 inches, and (F) 5 inches. Observed water quality parameters included temperature, pH, DO, ammonia, nitrite, and alkalinity. Growth performance indicators measured included specific growth rate (SGR), daily feed intake, feed conversion ratio (FCR), and survival rate. The results indicated that all treatments-maintained water quality within optimal ranges for tilapia culture. However, no significant differences ($p > 0.05$) were observed in growth performance across treatments. These findings suggest that tire-based diffusers can serve as effective, economical, and environmentally friendly alternatives to conventional aeration systems in tilapia aquaculture.

Keywords: Aeration; Aquaculture; Assembled Diffuser; Fish Growth; Nile Tilapia; Water Quality

1. Introduction

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu komoditas unggulan dalam industri perikanan budidaya di Indonesia, dengan nilai ekonomi yang tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat. Popularitasnya di pasar domestik dan ekspor, terutama dalam bentuk fillet ke Amerika Serikat, menjadikan ikan ini sebagai komoditas strategis. Ikan nila

* Korespondensi: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Muhammadiyah Pontianak.
Tel: +62-89619191965
e-mail: hiasanjarkasi@gmail.com

diminati karena rasanya yang lezat, kemudahan dalam budidaya, harga yang terjangkau, serta kandungan nutrisinya yang tinggi, termasuk protein sebesar 18%, asam amino esensial, dan daya serap zat besi yang baik.

Walaupun dikenal adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan, keberhasilan budidaya ikan nila tetap sangat bergantung pada kualitas air. Parameter seperti suhu, pH, kadar oksigen terlarut (DO), amonia, nitrit, dan alkalinitas merupakan determinan utama dalam mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan. Di antara parameter tersebut, oksigen terlarut memegang peranan krusial karena secara langsung berkaitan dengan metabolisme, keseimbangan fisiologis, serta memengaruhi toksisitas senyawa seperti amonia dan nitrit (Omweno et al., 2024).

Salah satu teknologi yang umum digunakan untuk menjaga kadar oksigen dalam air adalah aerator difusi, yang bekerja dengan menginjeksikan udara bertekanan melalui diffuser sehingga terbentuk gelembung udara sebagai media transfer oksigen (Haryanto et al., 2005). Efektivitas aerasi dipengaruhi oleh desain fisik diffuser, terutama ukuran permukaan dan distribusi lubang. Gelembung berukuran kecil diketahui memiliki efisiensi transfer oksigen yang lebih tinggi karena luas permukaan kontak yang lebih besar dan waktu tinggal yang lebih lama dalam kolom air (Navisa et al., 2014; Suwartha et al., 2020).

Penelitian terbaru menggunakan pendekatan *computational fluid dynamics* (CFD) oleh SeyedSharifi et al., (2024) menunjukkan bahwa pola desain diffuser berpengaruh terhadap distribusi ukuran gelembung dan kualitas pencampuran udara, yang pada akhirnya memengaruhi efisiensi oksigenasi. Hal ini menunjukkan bahwa optimalisasi diameter permukaan dan jarak antar lubang diffuser menjadi aspek penting dalam meningkatkan efisiensi aerasi.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter permukaan diffuser terhadap kualitas air dan performa pertumbuhan ikan nila. Diffuser yang digunakan dalam penelitian ini memiliki jumlah lubang yang sama namun dengan diameter permukaan berbeda, sehingga memengaruhi karakteristik gelembung udara yang terbentuk. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dalam desain diffuser yang lebih efisien dan aplikatif untuk mendukung budidaya ikan nila secara berkelanjutan.

2. Materials and Methods

2.1. Bahan dan alat

Alat dan bahan yang digunakan meliputi akuarium, aerator, kran udara, selang udara, alat tulis, timbangan, kamera, stopwatch, styrofoam, penggaris, kertas label, kantong plastik, ikan nila, pakan ikan, batu aerasi, serokan, diffuser ban bekas, thermometer, DO meter, pH meter, ammonia test kit, calorimeter alkalinitas, dan Tetra NO₂- test.

2.2. Prosedur penelitian

2.2.1. Pembuatan diffuser

Diffuser dirakit menggunakan ban dalam motor dan Dop PVC yang dilubangi dengan mesin bor. Adonan pasir dan semen dimasukkan ke dalam Dop PVC sebagai pemberat. Ban dalam dipotong dan dipasang pada Dop PVC lalu dijepit menggunakan klem selang. Elbow selang udara dipasang dan direkatkan dengan lem agar tidak bocor. Bagian permukaan ban kemudian dilubangi menggunakan peniti berukuran 0,40 mm sebanyak 250 lubang.

2.2.2. Persiapan wadah dan aerasi

Digunakan 18 akuarium berukuran 60 × 30 × 40 cm. Seluruh akuarium dibersihkan menggunakan air garam selama satu hari, lalu

dibilas dan dikeringkan. Masing-masing akuarium diisi air setinggi 25 cm dan dipasang aerator. Label perlakuan dipasang sesuai rancangan acak lengkap (RAL) dan layout penelitian.

2.2.3. Persiapan ikan uji

Ikan nila dengan panjang 3–5 cm diaklimatisasi selama 7 hari menggunakan air sumur di dalam akuarium berukuran 100 × 50 × 50 cm dengan kedalaman air 25 cm. Setelah adaptasi, ikan didistribusikan ke masing-masing akuarium sebanyak 12 ekor per wadah.

2.2.4. Pemeliharaan

Pemeliharaan berlangsung selama 45 hari. Pakan diberikan dua kali sehari (pagi dan sore) menggunakan metode ad satiation. Pakan yang digunakan adalah pelet komersial (protein 28–35%). Penggantian air dilakukan setengah volume setiap dua hari sekali melalui penyiponan. Setiap 15 hari dilakukan pengambilan sampel ikan minimal empat ekor per wadah.

2.3. Rancangan percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan enam perlakuan dan tiga ulangan. Perlakuan terdiri atas: A (batu aerasi sebagai perlakuan kontrol), B (diffuser 1 inci), C (diffuser 2 inci), D (diffuser 3 inci), E (diffuser 4 inci) dan F (diffuser 5 inci). Penempatan perlakuan pada setiap unit akuarium dilakukan secara acak untuk meminimalkan bias dan mengacu pada prinsip rancangan acak lengkap (Putrajab et al., 2024).

2.4. Parameter penelitian

2.4.1. Kualitas air

Pengukuran kualitas air dilakukan secara berkala selama masa pemeliharaan. Suhu air diukur setiap dua hari sekali pada pagi, siang, dan sore hari menggunakan termometer untuk memantau fluktuasi harian. Parameter oksigen terlarut (DO) diukur setiap lima hari menggunakan DO meter. Pengukuran pH dilakukan setiap dua hari dengan menggunakan pH meter atau kertas lakmus sebagai alat bantu. Sementara itu, parameter kimia lainnya seperti amonia, alkalinitas, dan nitrit diukur pada hari ke-0, 15, 30, dan 45 menggunakan test kit yang sesuai. Untuk pengujian parameter kimia ini, sampel air diambil sebanyak 10 ml dari masing-masing akuarium, kemudian digabung berdasarkan perlakuan sebelum dilakukan analisis.

2.4.2. Laju konsumsi oksigen

Perhitungan laju konsumsi oksigen dilakukan dengan menggunakan persamaan Steffensen (1989) sebagai berikut:

$$MO_2 = \frac{([O_2]_t - [O_2]_0) \times V}{W \cdot T}$$

Keterangan:

MO₂ = Laju Konsumsi Oksigen (mg O₂/g/jam)
 [O₂]₀ = Konsentrasi Oksigen pada Awal Pengukuran (mg/L)
 [O₂]_t = Konsentrasi Oksigen pada Akhir Pengukuran (mg/L)
 V = Volume Media (L)
 W = Bobot Biomas Ikan (g)
 T = Lama Pengukuran (jam)

2.4.3. Laju pertumbuhan ikan

Perhitungan laju pertumbuhan ikan dilakukan dengan menggunakan persamaan Agustin et al., (2014) sebagai berikut:

$$SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100$$

Keterangan:

SGR = Laju Pertumbuhan Spesifik (%)
 t = Waktu Pemeliharaan (hari)
 W_t = Rata-rata bobot individu pada akhir pemeliharaan (g)
 W₀ = Rata-rata bobot individu pada awal pemeliharaan (g)
 Ln = logaritma natural dengan basis e (e 2,718)

2.4.4. Faktor kondisi

Perhitungan faktor kondisi dilakukan dengan menggunakan persamaan Froese (2006) sebagai berikut:

$$FK = \frac{W}{L^3} \times 100$$

Keterangan:

FK = Faktor Kondisi
W = Bobot Individu (g)
L = Panjang Baku (cm)

2.4.5 Konsumsi pakan harian

Perhitungan laju konsumsi pakan harian dilakukan dengan menggunakan persamaan Takeuchi (1988) sebagai berikut:

$$FC = \frac{FI}{\frac{(W_o + W_t)}{2} \times T} \times 100$$

Keterangan:

FC = konsumsi pakan harian (% per hari)
FI = bobot pakan yang dikonsumsi (g)
W_o = bobot biomas ikan pada awal penelitian (g)
W_t = bobot biomas ikan pada akhir penelitian (g)
T = lama pemeliharaan (hari)

2.4.6 Rasio konversi pakan

Perhitungan rasio konversi pakan dilakukan dengan menggunakan persamaan Rostika et al., (2017) sebagai berikut:

$$FCR = \frac{F}{(W_t + D) - W_o} \times 100$$

Keterangan:

FCR = Rasio konversi pakan (%)
W_t = bobot rata-rata ikan di akhir pemeliharaan (g)
D = bobot total ikan yang mati
W_o = bobot rata-rata ikan di awal pemeliharaan (g)
F = total makanan yang diberikan selama pemeliharaan (g)

2.4.7 Kelangsungan hidup ikan

Perhitungan kelangsungan hidup ikan dilakukan dengan menggunakan persamaan Mulqan et al., (2017) sebagai berikut:

$$SR = \frac{N_o - N_t}{N_o} \times 100$$

Keterangan:

SR = Kelangsungan Hidup Ikan (%)
N_t = Jumlah Ikan Pada Akhir Pemeliharaan (ekor)
N_o = Jumlah Ikan Pada Awal Pemeliharaan (ekor)

2.5. Analisis data

Data yang diperoleh dianalisis secara statistik dan deskriptif menggunakan perangkat lunak R dan RStudio. Analisis dimulai dengan uji normalitas menggunakan uji Liliefors untuk menentukan apakah data berdistribusi normal. Selanjutnya, dilakukan uji homogenitas untuk memverifikasi kesamaan varians antar perlakuan. Jika data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, analisis sidik ragam (ANOVA) digunakan untuk menguji pengaruh perlakuan terhadap parameter yang diamati. Nilai F-hitung dibandingkan dengan F-tabel pada taraf signifikansi 5% dan 1% untuk menentukan perbedaan yang nyata atau sangat nyata. Jika ditemukan perbedaan signifikan, maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan secara lebih spesifik. Untuk data yang tidak berdistribusi normal, digunakan uji non-parametrik Kruskal-Wallis.

3. Results and Discussion

3.1. Results

3.1.1. Kualitas air

Kualitas air merupakan faktor penting dalam menunjang keberhasilan budidaya ikan nila. Selama 45 hari masa pemeliharaan, beberapa parameter kualitas air yang diamati meliputi suhu, pH, oksigen terlarut (DO), amonia, nitrit, dan alkalinitas. Hasil pengukuran pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1

Rata-rata parameter kualitas air.

Parameter	A	B	C	D	E	F
Suhu	26,9 ± 0,18	27,1 ± 0,21	27,1 ± 0,14	27,1 ± 0,18	27,1 ± 0,20	27,1 ± 0,18
pH	7,76 ± 0,03	7,76 ± 0,02	7,78 ± 0,01	7,77 ± 0,05	7,76 ± 0,02	7,75 ± 0,02
DO	6,93 ± 0,05	6,76 ± 0,06	6,81 ± 0,06	6,98 ± 0,05	7,02 ± 0,03	7,12 ± 0,05
Amonia	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Nitrit	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Alkalinitas	80	80	80	80	80	80

Keterangan: A (batu aerasi), B (diffuser 1 inci), C (diffuser 2 inci), D (diffuser 3 inci), E (diffuser 4 inci), F (diffuser 5 inci)

a. Suhu air

Suhu air berkisar antara 26,9 ± 0,18°C (perlakuan A) hingga 27,1 ± 0,21°C (perlakuan B). Seluruh perlakuan menunjukkan suhu yang relatif konstan, dengan variasi sangat kecil (<0,3°C), menandakan lingkungan termal yang terkontrol dengan baik.

b. pH

Nilai pH air tergolong netral, berkisar antara 7,75 ± 0,02 (perlakuan F) hingga 7,78 ± 0,01 (perlakuan C). Perbedaan nilai antar perlakuan sangat kecil dan berada dalam kisaran optimal untuk budidaya ikan, menunjukkan kestabilan parameter ini selama periode pengamatan.

c. Oksigen terlarut

Kandungan oksigen terlarut (DO) bervariasi tipis antara perlakuan, dengan nilai terendah pada perlakuan B (6,76 ± 0,06 mg/L) dan tertinggi pada perlakuan F (7,12 ± 0,05 mg/L). Semua nilai berada dalam batas optimal untuk pertumbuhan ikan, yaitu >5 mg/L.

d. Amonia

Kadar amonia terdeteksi konstan pada semua perlakuan, yaitu 0,5 mg/L. Meskipun masih dalam batas toleransi, nilai ini mendekati ambang kritis untuk beberapa spesies ikan, sehingga pengendalian tetap penting untuk menghindari akumulasi.

e. Nitrit

Kadar nitrit juga seragam di semua perlakuan, dengan nilai 0,6 mg/L. Ini merupakan angka yang perlu diperhatikan karena nitrit bersifat toksik pada kadar tinggi, meskipun nilai ini masih dapat diterima untuk jangka pendek.

f. Alkalinitas

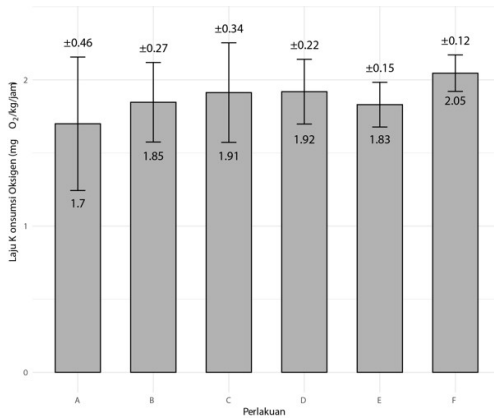
Alkalinitas tercatat sebesar 80 mg/L di semua perlakuan. Nilai ini menandakan daya tahan buffer air terhadap perubahan pH cukup baik, mendukung kestabilan parameter pH selama masa pemeliharaan.

3.1.2. Pertumbuhan ikan

Pengukuran parameter biologis dan fisiologis dilakukan untuk mengevaluasi performa dan kondisi ikan pada enam perlakuan berbeda (A hingga F). Parameter yang diamati meliputi laju konsumsi oksigen, laju pertumbuhan ikan, faktor kondisi, konsumsi pakan harian, rasio konversi pakan, serta kelangsungan hidup ikan.

a. Laju konsumsi oksigen

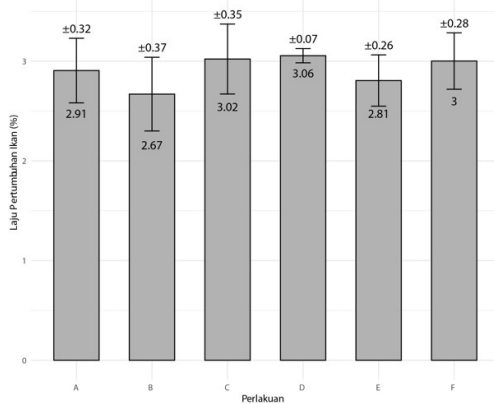
Laju konsumsi oksigen menunjukkan nilai yang relatif stabil di seluruh perlakuan (Tabel 1), dengan nilai terendah pada perlakuan A (1,7 ± 0,46) dan tertinggi pada perlakuan F (2,05 ± 0,12). Secara umum, nilai laju konsumsi oksigen cenderung meningkat secara bertahap dari perlakuan A ke F, meskipun variasi standar deviasi kecil menunjukkan konsistensi yang cukup baik dalam pengukuran ini.



Gambar 1. Laju konsumsi oksigen ikan nila merah yang dipelihara dengan menggunakan berbagai ukuran diffuser rakitan.

b. Laju pertumbuhan ikan

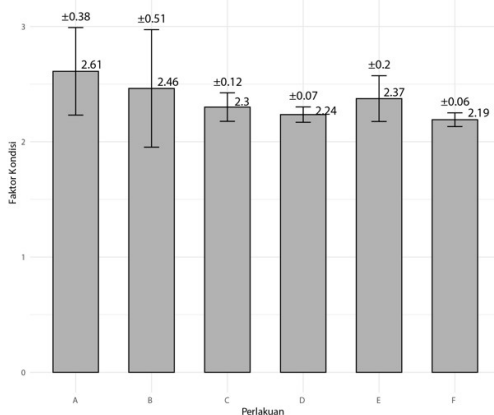
Laju pertumbuhan ikan pada semua perlakuan juga relatif homogen dengan kisaran nilai antara $2,76 \pm 0,22$ (perlakuan E) hingga $3,10 \pm 0,07$ (perlakuan D). Perlakuan D menunjukkan laju pertumbuhan tertinggi, sementara perlakuan E memiliki laju pertumbuhan terendah.



Gambar 2. Laju pertumbuhan ikan nila merah yang dipelihara dengan menggunakan berbagai ukuran diffuser rakitan.

c. Faktor kondisi

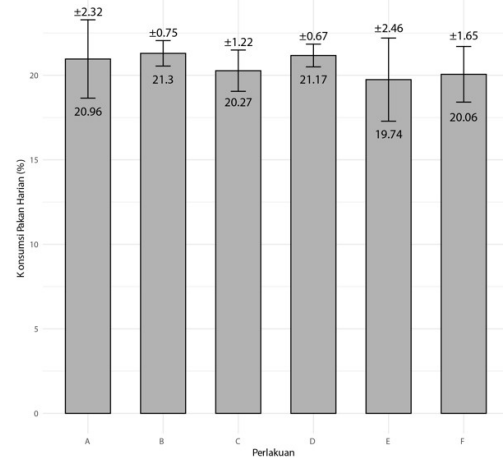
Faktor kondisi ikan cukup stabil di semua perlakuan, dengan nilai berkisar antara $3,10 \pm 0,47$ (perlakuan B) sampai $3,24 \pm 0,11$ (perlakuan A). Nilai ini menunjukkan kondisi kesehatan ikan yang baik dan relatif seragam di antara perlakuan, dengan sedikit fluktuasi yang dapat dianggap normal dalam eksperimen biologis.



Gambar 3. Faktor Kondisi ikan nila merah yang dipelihara dengan menggunakan berbagai ukuran diffuser rakitan.

d. Konsumsi pakan harian

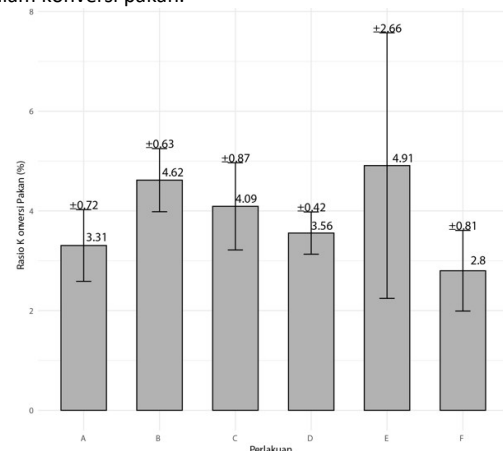
Konsumsi pakan harian ikan bervariasi antar perlakuan, dari yang terendah di perlakuan E ($19,66 \pm 2,52$) hingga tertinggi di perlakuan B ($21,66 \pm 0,53$). Secara umum, perbedaan konsumsi pakan harian tidak terlalu besar, namun perlakuan B dan D tampak mengonsumsi pakan lebih banyak dibandingkan perlakuan lainnya.



Gambar 4. Konsumsi pakan harian ikan nila merah yang dipelihara dengan menggunakan berbagai ukuran diffuser rakitan.

e. Rasio konversi pakan

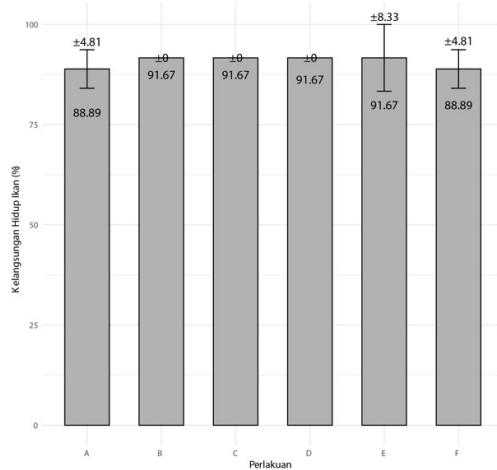
Rasio konversi pakan (*feed conversion ratio*) menunjukkan variasi yang cukup besar di antara perlakuan, dengan nilai terendah pada perlakuan F ($2,79 \pm 0,78$) dan tertinggi pada perlakuan E ($4,94 \pm 2,7$). Nilai rasio yang lebih rendah menandakan efisiensi pakan yang lebih baik, sehingga perlakuan F memiliki efisiensi pakan terbaik di antara semua perlakuan, sementara perlakuan E tampak paling tidak efisien dalam konversi pakan.



Gambar 5. Rasio konversi pakan ikan nila merah yang dipelihara dengan menggunakan berbagai ukuran diffuser rakitan.

f. Kelangsungan hidup ikan

Kelangsungan hidup ikan cukup tinggi di semua perlakuan dengan persentase sekitar 88,89% hingga 91,67%. Perlakuan B, C, D, dan E menunjukkan kelangsungan hidup tertinggi (91,67%) tanpa variasi (standar deviasi 0), sementara perlakuan A dan F sedikit lebih rendah dengan $88,89\% \pm 4,81$. Ini mengindikasikan tingkat kematian yang sangat rendah dan relatif konsisten pada semua perlakuan.



Gambar 6. Kelangsungan hidup ikan nila merah yang dipelihara dengan menggunakan berbagai ukuran diffuser rakitan.

3.2. Pembahasan

Seluruh perlakuan (A–F) menunjukkan parameter kualitas air yang berada pada kisaran optimal untuk budidaya ikan nila (Tabel 1). Selama 45 hari pemeliharaan, suhu air terjaga di 26,9–27,1°C, pH berkisar 7,75 – 7,78, oksigen terlarut (DO) 6,76–7,12 mg/L, ammonia 0,5 mg/L, nitrit 0,6 mg/L, dan alkalinitas 80 mg/L. Parameter-parameter ini berada dalam rentang yang mendukung pertumbuhan tilapia secara umum. Suhu yang stabil (27°C) mendekati zona suhu optimum bagi pertumbuhan ikan nila. Penelitian oleh Leonard dan Skov (2022) menemukan bahwa pertumbuhan optimal dicapai pada suhu sekitar 26–30°, sementara suhu di bawah 22°C atau di atas 34°C dapat menurunkan pertumbuhan secara signifikan. Suhu 26,9–27,1°C pada penelitian ini berada tepat dalam rentang termal optimal tersebut, sehingga metabolisme ikan berjalan efisien tanpa stres termal yang berarti. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pada 26–30°C, pertumbuhan dan konversi pakan ikan nila adalah yang terbaik, sedangkan di luar rentang itu (misal 20°C atau 34°C) pertumbuhan menurun tajam. Oleh karena itu, kestabilan suhu di setiap perlakuan berkontribusi positif dalam menjaga laju metabolisme dan nafsu makan ikan tetap tinggi (Handeland et al., 2008).

Nilai pH pada semua perlakuan relatif netral (sekitar 7,7) dan seragam (Tabel 1). Kisaran pH 7–8 diketahui ideal bagi fisiologi ikan nila, di mana efisiensi pertumbuhan tertinggi tercapai pada pH netral-sedikit basa (Abd El-Hack et al., 2022a). Selain itu Abd El-Hack et al., (2022a), menemukan bahwa pertumbuhan nila menurun signifikan pada pH terlalu asam (pH 6) atau terlalu basa (pH 9), sedangkan pada pH 7 – 8 pertumbuhan optimal dan FCR rendah. Dengan pH 7,75 – 7,78 di semua wadah, ikan berada dalam kondisi pH ideal dan tidak perlu mengeluarkan energi untuk osmoregulasi atau menyesuaikan keseimbangan asam-basa tubuhnya. Stabilitasnya pH ini juga mencerminkan fungsi penyangga yang baik dalam sistem perairan, sejalan dengan alkalinitas yang konstan yaitu 80 mg/L. Alkalinitas pada level ini memberikan kapasitas penetralan asam yang memadai sehingga mencegah fluktuasi pH yang tajam. Kemampuan buffering tersebut menjaga pH tetap stabil dari hari ke hari, mengurangi risiko stres pada ikan akibat perubahan pH mendadak (Gaines dkk. 2023). Dengan kata lain, alkalinitas yang cukup memastikan lingkungan perairan tetap pada kondisi kimiawi yang seimbang, mendukung proses fisiologis ikan secara optimal.

Kestabilan suhu dan pH ini kemungkinan turut dipengaruhi oleh keberadaan diffuser di setiap perlakuan, yang membantu meningkatkan sirkulasi dan pencampuran air secara

merata. Dengan sirkulasi yang baik, panas dan senyawa terlarut (termasuk CO₂ dan ion-ion penyangga pH) tersebar lebih homogen, sehingga mencegah terbentuknya zona panas/dingin atau zona fluktuasi pH yang lokal. Oleh karena itu, diffuser berperan tidak hanya dalam suplai oksigen, tetapi juga dalam menjaga kestabilan kondisi fisik-kimia perairan selama pemeliharaan.

Konsentrasi oksigen terlarut (DO) sedikit bervariasi antar perlakuan, dengan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya diameter diffuser. Diffuser berdiameter terbesar (F, 5 inci) menghasilkan DO rata-rata tertinggi (7,12 mg/L, Tabel 1), sedangkan aerator batu (A) dan diffuser kecil cenderung sedikit lebih rendah (6,7–6,9 mg/L). Peningkatan DO pada diffuser diameter besar ini konsisten dengan prinsip bahwa luas permukaan kontak udara-air yang lebih besar akan meningkatkan efisiensi difusi oksigen. Diffuser berdiameter lebih besar menghasilkan gelembung udara yang lebih banyak atau distribusi gelembung lebih halus, sehingga total area permukaan kontak dengan air meningkat (Navisa et al., 2014). Hal ini sejalan dengan efisiensi transfer oksigen yang lebih baik, terbukti dari DO perlakuan E dan F yang sedikit lebih tinggi serta fluktuasi harian DO yang lebih kecil, yang ditunjukkan dengan standar deviasi rendah dibandingkan dengan perlakuan lain. Temuan serupa dilaporkan oleh Febrianti et al., (2024), di mana penggunaan fine bubble diffuser mampu meningkatkan DO di kolam nila berkepadatan tinggi dibanding sistem tanpa diffuser halus. Peningkatan kadar oksigen melalui aerasi diffuser halus juga dilaporkan menjaga DO stabil siang-malam hari. Pada penelitian ini, meskipun perlakuan F mencatat DO tertinggi, semua perlakuan tetap berada dalam kisaran aman karena memiliki DO >5 mg/L. Batas minimum DO yang direkomendasikan bagi nila adalah sekitar 5 mg/L (70–80% saturasi) (Abd El-Hack et al., 2022b); di atas level tersebut, oksigen tidak lagi menjadi faktor pembatas pertumbuhan. Dengan DO 6,8 – 7,1 mg/L, seluruh wadah berada jauh di atas ambang kritis oksigen untuk nila, yaitu 4 mg/L (Abd El-Hack et al., 2022b). Kecukupan oksigen ini memastikan proses metabolisme (respirasi seluler) ikan dapat berlangsung optimal di setiap perlakuan, sehingga energi dari pakan dapat dimanfaatkan secara efisien untuk pertumbuhan jaringan tubuh. Pada kadar DO yang mencukupi (>5 mg/L), ikan nila menunjukkan aktivitas makan yang normal, tingkat stres rendah, serta efisiensi konversi pakan yang tinggi, yang semuanya berkontribusi langsung terhadap pertumbuhan. Sebaliknya, DO rendah (<4 mg/L) dapat menyebabkan hipoksia, penurunan nafsu makan, dan perlambatan pertumbuhan (Abd El-Hack et al., 2022b). Selain mendukung pertumbuhan, oksigen terlarut yang tinggi juga mempercepat proses biologis di air seperti oksidasi senyawa limbah, sehingga membantu menjaga kualitas lingkungan budidaya.

Kadar ammonia dan nitrit terukur seragam pada semua perlakuan (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa terlepas dari perbedaan desain diffuser, proses penguraian limbah nitrogen oleh bakteri nitrifikasi berjalan dengan efisiensi relatif sama di tiap wadah. Ammonia total (NH₃ + NH₄⁺) sebesar 0,5 mg/L yang tercatat tidak melebihi ambang toksisitas akut bagi nila, namun nilainya sedikit di atas batas optimum yang dianjurkan. Studi toksikologi menunjukkan bahwa pada konsentrasi total ammonia >7 mg/L terjadi kematian 100% benih nila dalam 24 jam (Abd El-Hack et al., 2022b), sedangkan pada kadar rendah sekitar 0,1 mg/L dapat mulai muncul efek negative (Abd El-Hack et al., 2022b). Secara khusus, fraksi ammonia tak terionisasi (NH₃) lah yang paling beracun bagi ikan.

Persentase NH₃ meningkat pada pH tinggi; pada pH 7,7 seperti dalam penelitian ini, hanya sekitar 2–5% dari total 0,5 mg/L yang berupa NH₃ beracun (Nehemia & Maganira, 2012).

Berdasarkan suhu dan pH setempat, fraksi $\text{NH}_3\text{-N}$ diperkirakan sebesar 0,02–0,025 mg/L, masih jauh di bawah ambang subletal (0,08 mg/L; Nehemia & Maganira, 2012) dan tidak cukup memicu dampak fisiologis dalam jangka 45 hari (El-Sherif et al., 2008). Namun yang lebih penting, konsentrasi total amonia cenderung stabil di semua perlakuan aerasi, yang mengindikasikan bahwa sistem diffuser—baik rakitan maupun kontrol—sama-sama mampu menjaga kondisi air tetap teroksigenasi dengan baik sehingga mencegah akumulasi amonia berlebih. Demikian pula, kadar nitrit terukur sebesar 0,6 mg/L yang relatif seragam antarperlakuan menunjukkan bahwa aerasi dari semua perlakuan cukup efektif dalam mempertahankan proses nitrifikasi parsial, meskipun nilainya masih sedikit di atas standar ideal <0,2 mg/L (Tetra et al., 2023). Nilai tersebut tetap jauh di bawah LC_{50} untuk ikan nila 3–4 mg/L (Wang et al., 2006), sehingga tidak menimbulkan risiko akut. Konsistensi kadar nitrit ini menguatkan bahwa perlakuan aerasi tidak menyebabkan gangguan kualitas air yang signifikan.

Kadar nitrit yang sama pada setiap perlakuan mengindikasikan laju nitrifikasi (oksidasi amonia menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas*, dan lanjut menjadi nitrat oleh *Nitrobacter*) berlangsung seimbang. Adanya suplai oksigen yang memadai di semua wadah turut membantu proses nitrifikasi sehingga akumulasi amonia/nitrit dapat dikendalikan (Febrianti et al., 2024). Bahkan, pada sistem dengan aerasi halus, peningkatan oksigen seringkali mempercepat konversi amonia menjadi nitrit/nitrat sehingga konsentrasi nitrit justru lebih rendah dibanding sistem aerasi kurang optimal (Febrianti et al., 2024). Dalam penelitian Febrianti et al. (2024), misalnya, kolam dengan fine diffuser menunjukkan nitrit jauh lebih rendah (<0,2 mg/L) dibanding kolam tanpa diffuser halus (>5 mg/L) pada kepadatan tebar tinggi (Febrianti et al., 2024). Pada penelitian ini, karena beban organik relatif rendah dan semua sistem mendapat aerasi, tidak terlihat perbedaan kadar nitrit antar perlakuan. Semuanya berada pada level aman meski sedikit di atas nilai ideal jangka panjang.

Secara umum, kestabilan kualitas air di setiap perlakuan menunjukkan bahwa variasi diameter diffuser rakitan tidak mengganggu kondisi lingkungan budidaya. Seluruh perlakuan mampu mempertahankan suhu, pH, DO, amonia, nitrit, dan alkalinitas dalam kisaran toleransi optimal bagi ikan Nila. Hal ini penting karena ikan nila memang memiliki toleransi lingkungan yang cukup luas, tetapi performa budidayanya tetap sangat dipengaruhi oleh kualitas air. Omweno et al. (2024) menekankan bahwa parameter seperti suhu, pH, DO, amonia, nitrit, dan alkalinitas semuanya berperan penting terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup nila, dengan oksigen terlarut sebagai faktor krusial yang juga memengaruhi toksisitas amonia/nitrit. Dalam konteks ini, diffuser berdiameter besar terbukti mampu meningkatkan DO tanpa menimbulkan efek negatif pada parameter lain, sehingga dapat disimpulkan bahwa desain fisik diffuser dapat dioptimalkan untuk mendongkrak oksigenasi air tanpa mengorbankan stabilitas kualitas air. Dengan kata lain, penggunaan diffuser rakitan berdiameter besar (seperti perlakuan F dengan diameter 5 inci yang dibuat dari ban bekas) dapat menjadi alternatif teknik aerasi yang efektif dalam menjaga kualitas air setara dengan aerator konvensional.

Evaluasi performa pertumbuhan ikan mencakup laju konsumsi oksigen (MO_2), laju pertumbuhan (misalnya *specific growth rate* atau SGR), faktor kondisi (FK), konsumsi pakan harian (FC), rasio konversi pakan (FCR), dan kelangsungan hidup (survival rate, SR). Hasil analisis statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) pada semua parameter pertumbuhan antar perlakuan.

Nilai SGR harian ikan nila relatif seragam pada semua perlakuan, demikian pula dengan konsumsi pakan, FCR, faktor

kondisi, dan tingkat kelangsungan hidup yang semuanya tidak berbeda nyata. Tidak adanya perbedaan ini sejalan dengan temuan bahwa kualitas air di tiap perlakuan relatif setara dan berada dalam kondisi optimal, sehingga ikan mengalami lingkungan tumbuh yang mirip. Dengan DO di semua wadah di atas ambang kritis (4–5 mg/L), tidak ada perlakuan yang mengalami kekurangan oksigen yang dapat menghambat metabolisme.

Konsep *critical oxygen level* menyatakan bahwa selama DO lingkungan berada di atas ambang tersebut, laju respirasi dan metabolisme ikan akan berjalan optimal dan tidak meningkat lebih lanjut meskipun DO bertambah. Boyd & Hanson (2010) melaporkan bahwa kenaikan DO di atas 5 mg/L tidak lagi memberikan peningkatan pertumbuhan yang berarti bagi ikan budidaya. Hal ini sejalan dengan kondisi penelitian ini, di mana diffuser 5 inci memang menghasilkan DO tertinggi (7,1 mg/L), namun kelebihan oksigen tersebut tidak memberikan efek tambahan yang signifikan terhadap pertumbuhan atau efisiensi pakan. Meskipun demikian, diffuser berdiameter 5 inci mencatat rata-rata pertumbuhan berat tertinggi, sedangkan aerator batu menghasilkan pertumbuhan terendah, menunjukkan adanya tren searah antara luas penampang diffuser, kadar DO, dan performa pertumbuhan ikan. Selama kebutuhan minimum oksigen terpenuhi, energi metabolik ikan dapat dialokasikan sepenuhnya untuk pertumbuhan, bukan untuk respons stres. Semua perlakuan berhasil menjaga DO jauh di atas level minimal untuk respirasi, sehingga laju konsumsi oksigen ikan (MO_2) berada pada tingkat yang relatif sama. Tidak terdeteksinya perbedaan MO_2 mengindikasikan ikan di setiap perlakuan mengambil oksigen sesuai kebutuhan normalnya, tanpa adanya indikasi kekurangan oksigen.

Stabilnya parameter kualitas air lain (suhu, pH, amonia, nitrit) di seluruh perlakuan juga berkontribusi terhadap keseragaman performa pertumbuhan. Ketika kualitas air terpenuhi, ikan tidak mengalami tekanan lingkungan yang memaksa penyesuaian fisiologis yang menguras energi. Sebaliknya, ikan dapat memanfaatkan porsi energi yang lebih besar untuk pertumbuhan.

Teori alokasi energi menyatakan bahwa pada kondisi stres, ikan harus mengalihkan energi untuk bertahan hidup (misal detoxifikasi, osmoregulasi, respon imun), sehingga energi untuk pertumbuhan berkurang (Canosa dan Bertucci, 2023). Sebagai contoh, adanya polutan atau kualitas air buruk akan memicu respon stres (peningkatan kortisol) yang mengaktifkan proses metabolik kostum energi tinggi, akhirnya menekan pertumbuhan otot. Dalam penelitian ini, karena tidak ada faktor lingkungan yang melampaui ambang stres, ikan di semua perlakuan berada dalam kondisi nyaman. Hal ini tercermin dari konsumsi pakan harian (FC) yang tidak berbeda antar perlakuan; artinya nafsu makan ikan tetap terjaga pada tingkat yang sama.

Faktor lingkungan seperti DO rendah, amonia tinggi, atau nitrit tinggi diketahui dapat menurunkan nafsu makan ikan (Abd El-Hack et al., 2022a), namun ketiganya terkendali baik di semua perlakuan, sehingga ikan mengonsumsi pakan secara normal. Konsumsi pakan yang setara ini pada gilirannya menghasilkan pertumbuhan bobot yang setara pula. FCR rata-rata tiap perlakuan pun tidak berbeda, menunjukkan efisiensi pemanfaatan pakan yang sama. Nilai FCR yang rendah (1,0 - 1,2) mengindikasikan konversi pakan yang efisien, selaras dengan tidak adanya gangguan lingkungan yang memengaruhi pencernaan atau metabolisme nutrisi.

Tingginya keseragaman kondisi juga terlihat pada faktor kondisi (FK) ikan yang relatif sama antar perlakuan. FK mencerminkan kesesuaian proporsi berat dan panjang ikan; nilai yang mirip mengindikasikan semua ikan tumbuh dengan proporsi tubuh normal tanpa indikasi perlakuan ikan yang kurus (stunting)

atau terlalu gemuk. Stabilitasnya FK ini menandakan bahwa tidak ada perlakuan yang menyebabkan stres kronis atau malnutrisi pada ikan. Limburg dan Casini, (2019) menyatakan penurunan faktor kondisi sering terkait dengan stres lingkungan (misal hipoksia atau paparan racun), dan hal tersebut tidak terjadi pada penelitian ini. Terakhir, tingkat kelangsungan hidup (SR) yang tinggi dan merata (>90% di semua perlakuan) memperkuat bukti bahwa tidak ada perlakuan aerasi yang menimbulkan kondisi lethal atau sub-lethal bagi ikan. Hampir seluruh ikan mampu bertahan hidup hingga akhir percobaan, menunjukkan bahwa diffuser rakitan berbagai ukuran sama efektifnya dengan aerator kontrol dalam menjaga lingkungan yang mendukung survival ikan nila.

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa studi budidaya terbaru. Cala-Delgado et al., (2023) melaporkan bahwa perbedaan metode aerasi tidak menyebabkan perubahan kinerja pertumbuhan juvenile ikan nila dalam sistem bioflok. Dalam studi tersebut, aerator tipe "splash" dan blower menghasilkan kualitas air yang sedikit berbeda (DO dan suhu berbeda signifikan), namun pertumbuhan akhir, FCR, dan survival ikan merah (hibrida tilapia) selama 90 hari tidak berbeda nyata. Survival di kedua sistem juga sama-sama tinggi (95–97%), mirip dengan temuan penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa selama parameter kualitas air dijaga dalam batas optimal (misalnya DO dijaga >4 mg/L, ammonia <1 mg/L, pH 7), jenis aerasi atau diffuser yang berbeda belum tentu memberi pengaruh nyata pada produktivitas ikan. Temuan tersebut konsisten dengan hasil penelitian ini yaitu bahwa variasi diffuser (batu aerasi vs diffuser 1–5 inci) tidak memunculkan perbedaan performa, karena semua sistem mampu memenuhi kebutuhan minimal ikan.

Sebaliknya, pada kondisi budidaya dengan tantangan kualitas air yang lebih besar, modifikasi sistem aerasi dapat berdampak signifikan. Fouda et al. (2023) misalnya, menguji aerasi *fine bubbles* vs metode tradisional pada budidaya nila dan menemukan peningkatan pertumbuhan pada aerasi *fine bubbles*. Kadar DO yang lebih tinggi dan ammonia yang lebih rendah pada aerasi mikro-gelembung tersebut menghasilkan SGR lebih tinggi (SGR maksimum 1,96%/hari) dan FCR lebih efisien dibanding sistem aerasi konvensional. FCR terbaik sekitar 1,18 dicapai pada sistem diffuser halus, lebih baik daripada aerasi tradisional (Fouda et al., 2023). Perbedaan ini muncul karena pada metode tradisional, oksigen cenderung lebih rendah dan ammonia terakumulasi hingga 4,89 mg/L, sedangkan diffuser halus mampu menekan ammonia hingga 0,32 mg/L (Fouda et al., 2023). Kondisi air yang lebih baik tersebut langsung berdampak pada peningkatan nafsu makan dan pertumbuhan ikan.

Sejalan dengan itu, Febrianti et al. (2024) melaporkan bahwa penerapan diffuser gelembung halus pada kolam padat tebar tinggi memungkinkan peningkatan produktivitas hingga 8 kali lipat dibanding aerasi paddle-wheel biasa, tanpa mengorbankan kualitas air. Pencapaian ini dimungkinkan karena diffuser halus mempertahankan DO kolam lebih tinggi dan stabil meskipun kepadatan ikan dinaikkan drastis, sehingga ikan tetap tumbuh optimal (Febrianti et al., 2024). Kedua studi tersebut menegaskan bahwa manfaat modifikasi aerasi akan nyata apabila sistem awal berada pada atau mendekati batas daya dukung kualitas airnya. Dalam kondisi ekstrem (misalnya kepadatan sangat tinggi atau aerasi minim), penggunaan diffuser yang lebih efisien mampu memperbaiki kualitas air (meningkatkan oksigenasi, menurunkan ammonia/nitrit) dan pada gilirannya meningkatkan pertumbuhan serta kelangsungan hidup ikan.

Adapun pada penelitian ini, tidak terlihat perbedaan performa antar perlakuan karena kondisi setiap perlakuan sudah berada dalam taraf optimal sejak awal. Ikan nila diketahui memiliki toleransi terhadap kisaran kualitas air yang luas dan

kemampuan adaptasi tinggi. Selama parameter utama masih dalam ambang kebutuhan fisiologisnya, ikan nila mampu tumbuh dengan laju maksimum yang relatif konstan. Variasi rancangan diffuser tidak memberikan keuntungan tambahan karena tidak ada faktor pembatas yang perlu diperbaiki. DO sudah cukup tinggi, senyawa nitrogen toksik cukup rendah, dan parameter lain stabil. Meskipun diffuser diameter terbesar meningkatkan DO sedikit lebih tinggi, kadar DO 6–7 mg/L pada diffuser kecil pun sudah mencukupi kebutuhan oksigen ikan (di atas kebutuhan minimum 4–5 mg/L), sehingga tidak terjadi peningkatan laju pertumbuhan lebih lanjut. Dengan kata lain, semua perlakuan menawarkan lingkungan yang sama baiknya bagi ikan, sehingga laju pertumbuhan yang dicapai pun serupa.

Dari sudut pandang aplikatif, hasil ini menunjukkan bahwa diffuser rakitan dari ban bekas berdiameter 1–5 inci mampu menjaga performa ikan nila setara dengan batu aerasi konvensional. Hal ini berarti teknologi diffuser rakitan dapat diandalkan sebagai alternatif aerasi yang lebih ekonomis dan berkelanjutan tanpa menurunkan mutu air ataupun pertumbuhan ikan. Bagi pembudidaya, pilihan penggunaan diffuser dengan diameter lebih besar dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan efisiensi transfer oksigen, terutama pada skala usaha yang lebih intensif, dengan catatan bahwa parameter lain perlu tetap dipantau agar tidak menjadi faktor pembatas baru. Secara keseluruhan, keterkaitan antar parameter dalam penelitian ini menggambarkan prinsip bahwa kualitas air yang terjaga baik akan menghasilkan performa pertumbuhan ikan yang optimal dan seragam. Upaya peningkatan teknologi aerasi seperti variasi diffuser akan berdampak nyata apabila ditujukan untuk mengatasi keterbatasan kualitas air; namun apabila kualitas air sudah mendukung, variasi tersebut berfungsi sebagai strategi *safety margin* dan memastikan kondisi tetap stabil, seperti yang tercermin dalam kestabilan data pertumbuhan ikan nila pada semua perlakuan.

4. Conclusion

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan diffuser rakitan dengan variasi diameter (1-5 inci) dapat mempertahankan kualitas air dengan optimal namun tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap performa pertumbuhan ikan nila. Diffuser rakitan dari ban bekas dengan diameter (4-5 inci) dapat dijadikan alternatif aerasi yang layak dan ramah lingkungan untuk sistem budidaya ikan nila merah skala kecil hingga menengah.

Bibliography

- Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Nader, M.M., Salem, H.M., El-Tahan, A.M., Soliman, S.M., and Khafaga, A.F. 2022a. Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2183–2194. doi: 10.1007/s00484-022-02347-6.
- Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Nader, M.M., Salem, H.M., El-Tahan, A.M., Soliman, S.M., and Khafaga, A.F. 2022b. Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2183–2194. doi: 10.1007/s00484-022-02347-6.
- Agustin, R., Sasanti, A.D., dan Yulisman. 2014. Konversi pakan, laju pertumbuhan, kelangsungan hidup dan populasi bakteri benih ikan gabus (*Channa striata*) yang diberi pakan dengan penambahan probiotik. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 2(1), 55–66.

- Cala-Delgado, D.L., Alvarez-Rubio, N.C., and Cueva-Quiroz, V.A. 2023. Effect of the aeration system on water quality parameters and productive performance of red tilapia (*Oreochromis* sp.) grown in a biofloc system. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 52, 1–7. doi: 10.37496/RBZ5220230036.
- Canosa, L.F., and Bertucci, J.I. 2023. The effect of environmental stressors on growth in fish and its endocrine control. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1–20. doi: 10.3389/fendo.2023.1109461.
- Febrianti, D., Hapsari, F., and Fikriyah, A. 2024. Comparative Study of Paddlewheels and Fine Bubble Diffuser Aeration Systems in Red Tilapia Aquaculture: Impacts on Management, Productivity, And Financial Performance. *Research Article Journal of Aquaculture*, (2), 1–13. Tersedia pada: www.kosmospublishers.com.
- Fouda, T., Elrayes, A.-E., and Elhanafy, A.-E. 2023. The effect of aeration method on Nile tilapia growth, water quality indicators and environmental impact. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 23(1), 251–260.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241–253. doi: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x.
- Gaines, E., Sturmer, L., Anderson, N., Laramore, S., and Baker, S. 2023. *The Role of pH, Alkalinity, and Calcium Carbonate in Shellfish Hatcheries*.
- Handeland, S.O., Imsland, A.K., and Stefansson, S.O. 2008. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture*, 283(1–4), 36–42. doi: 10.1016/J.AQUACULTURE.2008.06.042.
- Haryanto, E., Arum, I., dan Susetyaningsih, R. 2005. Pengaruh Bentuk Difuser Terhadap Transfer Oksigen. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 2.
- Leonard, J.N., and Skov, P.V. 2022. Capacity for thermal adaptation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on oxygen uptake and ventilation. *Journal of Thermal Biology*, 105. doi: 10.1016/j.jtherbio.2022.103206.
- Limburg, K.E., and Casini, M. 2019. Otolith chemistry indicates recent worsened Baltic cod condition is linked to hypoxia exposure. *Biology Letters*, 15(12). doi: 10.1098/RSBL.2019.0352.
- Mulqan, M., Afdhal El Rahimi, S., dan Dewiyanti, I. 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.
- Navisa, J., Sravya, T., Swetha, M., and Venkatesan, M. 2014. Effect of Bubble Size on Aeration Process. *Asian Journal of Scientific Research*, 7(4), 482–487.
- Omwen, J., Getabu, A., Omondi, R., and S. Orina, P. 2024. Water quality effects on growth and survival of *Oreochromis jipe* and *Oreochromis niloticus* species in aquaculture. Dalam: *Water Quality - New Perspectives*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.106361.
- Putrajab, W.E., Dwi, B., Setyono, H., and Alim, S. 2024. The Effect of Exposure to Microplastic Polyvinyl Chloride (PVC) in Feed on the Growth and Survival of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Fish Health*, 4(2), 42–51. Tersedia pada: <https://doi.org/10.29303/jfh.v4i2.4940>.
- Rostika, R., Andriani, Y., Abram, A.H., and Vinasyam, A. 2017. The growth rate of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fry fed on fermented *Lemna* sp. meal. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 16(1), 101. doi: 10.19027/jai.16.1.101-106.
- SayedSharifi, M., Taheriyoun, M., and Qandari, H. 2024. Analyzing the effects of different patterns of diffuser layouts on air distribution and mixing quality in an aeration tank using CFD. *Process Safety and Environmental Protection*, 181, 182–194. doi: 10.1016/j.psep.2023.11.026.
- Steffensen, J.F. 1989. Some errors in respirometry of aquatic breathers: how to avoid and correct for them. *Fish Physiology and Biochemistry*, 6(1), 49–59.
- Suwartha, N., Syamzida, D., Priadi, C.R., Moersidik, S.S., and Ali, F. 2020. Effect of size variation on microbubble mass transfer coefficient in flotation and aeration processes. *Heliyon*, 6(4). doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03748.
- Takeuchi, T. 1988. Laboratory work-chemical evaluation of dietary nutrient. In Watanabe, T (Ed.) *Fish nutrition and mariculture. JICA Kanagawa International Fisheries Training Centre*, hlm. 179–233.
- Wedemeyer, G.A. 1996. *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems*. Boston, MA: Springer US. doi: 10.1007/978-1-4615-6011-1.