

PERBANDINGAN EFISIENSI ENERGI SISTEM AERASI DAN SIRKULASI AIR PADA BUDIDAYA SKALA KECIL DENGAN KONDISI OKSIGEN TERLARUT AWAL BERBEDA

Comparison of Energy Efficiency of Aeration and Water Circulation Systems in Small-Scale Cultivation with Different Initial Dissolved Oxygen Conditions.

Zulkisam Pramudia^{1*}, Rahmi Valina², Mohamad Fadjar³, Rizky Fadilla Agustin Rangkuti⁴, Andi Kurniawan^{5*}

^{1,3,4}Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya

²Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Bangka Belitung

⁵Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya

Disubmit: 9 Juni 2025; Direvisi: 25 Juni 2025; Diterima: 4 Juli 2025

ABSTRAK: Efisiensi sistem aerasi menjadi aspek krusial dalam budidaya perikanan skala kecil, terutama untuk menjaga kadar oksigen terlarut atau Dissolved Oxygen (DO) tetap optimal. Penelitian ini bertujuan membandingkan performa dan efisiensi energi aerator diffuser dan pompa sirkulasi dalam meningkatkan DO pada kolam fiber 1000 L selama 24 jam, dengan kondisi DO awal rendah. Dua perlakuan (P1: aerator diffuser dan P2: pompa sirkulasi) masing-masing diulang tiga kali, serta satu kontrol tanpa perlakuan. Hasil pengukuran DO dianalisis menggunakan ANOVA satu arah dengan uji lanjut BNT. Hasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) antar perlakuan. Aerator diffuser ($\Delta DO = 3,50$ mg/L) memberikan peningkatan DO tertinggi dan efisiensi energi 4,17 mg/L per kWh, lebih baik dibanding pompa sirkulasi ($\Delta DO = 2,70$ mg/L; 3,21 mg/L per kWh). Kontrol menunjukkan penurunan DO alami sebesar 0,72 mg/L. Temuan ini menunjukkan bahwa aerator diffuser lebih efektif dan efisien secara energi dalam meningkatkan DO, serta lebih cocok diterapkan pada unit budidaya skala kecil.

Kata kunci: Aerasi; Efisiensi Energi; Oksigen Terlarut; Pompa Sirkulasi

ABSTRACT

Aeration system efficiency is critical in small-scale aquaculture to maintain optimal dissolved oxygen (DO) levels. This study aimed to compare the performance and energy efficiency of a diffuser aerator and water circulation pump in increasing DO within a 1000 L fiberglass tank over 24 hours, starting from low initial DO conditions. Two treatments (P1: diffuser aerator and P2: circulation pump), each with three replications, and one control were used. DO measurements were collected every 2 hours and then analyzed using one-way ANOVA, followed by an LSD post-hoc test. Results showed a significant difference ($p < 0.05$) among treatments. The diffuser aerator showed the highest DO increase ($\Delta DO = 3.50$ mg/L) and energy efficiency (4.17 mg/L per kWh), outperforming the circulation pump ($\Delta DO = 2.70$ mg/L; 3.21 mg/L per kWh). The control showed a natural DO decrease of 0.72 mg/L. These findings suggest that diffuser aerators are more effective and energy-efficient, making them more suitable for small-scale aquaculture systems.

Keywords: Aeration; Dissolved Oxygen; Energy Efficiency; Small-Scale; Water Circulation

*corresponding author

Email: andi_k@ub.ac.id; zulkisampramudia@ub.ac.id

Recommended APA Citation :

Pramudia, Z., Valina, R., Fadjar, M., Fadilla, R., Rangkuti, A., Kurniawan, A. (2025). Perbandingan Efisiensi Energi Sistem Aerasi Dan Sirkulasi Air Pada Budidaya Skala Kecil Dengan Kondisi Oksigen Terlarut Awal Berbeda. *J. Aquac. Indones*, 4(2): 133-144. <http://dx.doi.org/10.46576/jai.v4i2.6757>

PENDAHULUAN

Sistem aerasi merupakan komponen vital dalam budidaya perikanan intensif karena berfungsi menjaga kadar oksigen terlarut (DO) dalam air pada tingkat optimal. Ketersediaan DO yang cukup memiliki pengaruh langsung terhadap metabolisme, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup organisme budidaya (Wafi *et al.*, 2021). Sebaliknya, rendahnya kadar DO dapat menyebabkan stres fisiologis, menurunkan efisiensi pakan, serta meningkatkan kerentanan ikan terhadap penyakit, sehingga menjadi faktor kritis dalam pengelolaan kualitas air.

Pada unit budidaya skala kecil, efisiensi penggunaan alat aerasi menjadi sangat penting, terutama karena keterbatasan sumber daya listrik dan kebutuhan untuk menekan biaya operasional (Pramudia *et al.*, 2022; Kurniawan *et al.*, 2021). Dua sistem yang umum digunakan dalam aerasi adalah aerator diffuser dan pompa sirkulasi. Aerator diffuser bekerja dengan menyebarkan gelembung udara berukuran kecil ke dalam air, sehingga meningkatkan luas permukaan kontak udara dengan air dan mempercepat proses difusi oksigen. Sementara itu, pompa sirkulasi bekerja dengan menciptakan arus air, yang membantu mempercepat pertukaran gas melalui pergerakan air dan meningkatkan kontak antara permukaan air dan udara bebas.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengevaluasi performa alat aerasi baik yang berbasis mekanik maupun sistem difusi udara. Misalnya, fine bubble diffuser telah terbukti memiliki efisiensi transfer oksigen yang tinggi, terutama dalam sistem *Recirculating Aquaculture System* (Mugisidi *et al.*, 2023). Di sisi lain, beberapa studi telah membandingkan berbagai sistem sirkulasi air dalam upaya meningkatkan kualitas air secara umum, namun belum secara spesifik menyoroti peran sistem tersebut dalam peningkatan kadar DO dalam kaitannya dengan konsumsi energi (Bahtiar, 2023; Pramudia *et al.*, 2022). Dengan demikian, informasi mengenai perbandingan langsung antara efisiensi aerator diffuser dan pompa sirkulasi dalam konteks budidaya skala kecil masih relatif terbatas.

Selain jenis alat, kondisi awal oksigen terlarut dalam air juga berpengaruh terhadap efektivitas aerasi. Air dengan kadar DO awal yang rendah umumnya memerlukan energi dan waktu yang lebih banyak untuk mencapai tingkat DO yang mendekati titik jenuh (Nasution & Prayogi, 2018; Pramudia *et al.*, 2024). Hal ini

menunjukkan bahwa performa sistem aerasi tidak hanya dipengaruhi oleh teknologi yang digunakan, tetapi juga oleh kondisi awal lingkungan air itu sendiri. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui sistem mana yang lebih efisien pada kondisi awal DO yang berbeda (Kurniawan *et al.*, 2021)

Dengan latar belakang tersebut dan mempertimbangkan masih terbatasnya studi yang membandingkan kedua sistem aerasi dalam skala kecil, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja dan efisiensi energi antara aerator diffuser dan pompa sirkulasi dalam meningkatkan kadar oksigen terlarut selama 24 jam. Penelitian ini dilakukan pada kolam fiber bundar berkapasitas 1000 liter, dengan pengaturan kondisi awal DO yang berbeda, untuk memberikan informasi praktis bagi pembudidaya skala kecil dalam memilih sistem aerasi yang paling sesuai dan efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama 24 jam di Laboratorium Budidaya Ikan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan efisiensi energi dua sistem aerasi, yaitu aerator diffuser dan pompa sirkulasi, dalam meningkatkan kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) pada kolam budidaya skala kecil dengan kondisi awal *Dissolved Oxygen (DO)* yang berbeda. Dalam konteks ini, penggunaan aerator telah banyak diteliti oleh para peneliti yang menunjukkan bahwa aerator mampu meningkatkan transfer oksigen ke dalam air dengan meningkatkan interfacial area antara udara dan air, yang penting untuk mencegah stratifikasi di kolam budidaya (Mohan *et al.*, 2022; Boys *et al.*, 2021).

Penelitian dilakukan menggunakan enam unit kolam fiber bundar dengan diameter 120 cm dan tinggi air 90 cm, menghasilkan volume efektif 1000 liter per unit. Dua jenis perlakuan diterapkan, masing-masing dengan tiga ulangan. Perlakuan pertama menggunakan aerator diffuser berbasis gelembung halus dengan kapasitas udara 40 L/menit dan daya listrik 35 watt. Perlakuan kedua menggunakan pompa sirkulasi air dengan spesifikasi aliran 2500 L/jam dan daya listrik 35 watt. Satu kolam tambahan disiapkan sebagai kontrol, yaitu tanpa sistem aerasi atau sirkulasi, guna mengamati perubahan DO alami dalam kondisi stagnan.

Air yang digunakan merupakan air tawar yang telah diendapkan selama 24 jam untuk memastikan kestabilan parameter kimia. Sebelum perlakuan dimulai, kadar DO pada seluruh kolam diturunkan secara terkendali menggunakan penambahan larutan natrium sulfit (Na_2SO_3). Penurunan kadar oksigen ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi awal air dengan kadar DO rendah yang umum terjadi di sistem budidaya malam hari atau saat intensitas fotosintesis rendah. Selain itu, tindakan ini juga dilakukan untuk menghindari kemungkinan tercapainya titik jenuh oksigen dalam air selama proses aerasi, sehingga memungkinkan evaluasi peningkatan DO secara lebih objektif dan terukur antar perlakuan (Engle *et al.*, 2021; Laktuka *et al.*, 2023).

Seluruh perlakuan dijalankan secara simultan dan kontinu selama 24 jam tanpa penggantian air maupun intervensi lainnya. Pengukuran parameter dilakukan setiap dua jam menggunakan DO meter digital dengan akurasi $\pm 0,1$ mg/L, sedangkan konsumsi listrik masing-masing alat dicatat menggunakan wattmeter digital (akurasi ± 1 watt) untuk memperoleh data konsumsi energi kumulatif. Peningkatan oksigen terlarut dihitung sebagai selisih antara kadar DO akhir dan awal, dengan rumus:

$$\Delta DO = DO_{akhir} - DO_{awal}$$

Jumlah total oksigen terlarut yang berhasil ditambahkan ke dalam air dihitung dengan:

$$O_2 \text{ Added} = \Delta DO \times V$$

dengan $V = 1000$ L sebagai volume air di setiap unit kolam.

Konsumsi energi total untuk masing-masing alat dihitung berdasarkan daya alat dan lama penggunaan:

$$E = P \times t$$

Dengan P adalah daya alat dalam watt, dan t adalah durasi penggunaan dalam jam (24 jam dalam penelitian ini). Hasilnya dikonversi dari watt-jam ke kilowatt-jam untuk memudahkan interpretasi efisiensi.

Efisiensi energi dalam proses aerasi atau sirkulasi dihitung menggunakan rasio antara total peningkatan oksigen terlarut dan energi yang dikonsumsi:

$$\text{Efisiensi Energi} = \Delta DO \times V \times E^{-1}$$

dengan satuan akhir mg O_2 /kWh, yang menunjukkan seberapa banyak oksigen terlarut berhasil ditambahkan dalam setiap kilowatt-jam energi listrik yang digunakan.

Data yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA satu arah (*Analysis of Variance*) dengan taraf signifikansi 5% untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata antara perlakuan. Jika terdapat perbedaan signifikan, maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT). Hipotesis yang diuji meliputi: 1) H_0 : Tidak terdapat perbedaan signifikan antara aerator diffuser dan pompa sirkulasi dalam meningkatkan DO dan efisiensi energi; 2) H_1 : Terdapat perbedaan signifikan antara kedua sistem tersebut. Kriteria pengambilan keputusan didasarkan pada nilai p-value ($< 0,05$), dengan penerimaan atau penolakan H_0 sesuai dengan hasil uji ANOVA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kenaikan *Dissolved Oxygen* (DO) dan Perhitungan ΔDO

Pengamatan kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dilakukan setiap dua jam selama 24 jam pada masing-masing perlakuan aerator diffuser (P1), pompa sirkulasi (P2), dan kontrol (tanpa aerasi). Rata-rata dan standar deviasi dari tiga ulangan dicatat dan disajikan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perkembangan DO (mg/L) Rata-rata dan Standar Deviasi

Waktu (jam)	Rata-rata P1 ± SD	Rata-rata P2 ± SD	Kontrol
0	2,50 ± 0,00	2,70 ± 0,00	2,50
2	2,97 ± 0,07	3,07 ± 0,09	2,42
4	3,57 ± 0,12	3,63 ± 0,14	2,33
6	4,13 ± 0,10	4,03 ± 0,11	2,43
8	4,53 ± 0,15	4,33 ± 0,17	2,20
10	5,07 ± 0,16	4,57 ± 0,13	2,14
12	5,33 ± 0,18	4,77 ± 0,12	1,92
14	5,63 ± 0,13	4,97 ± 0,15	1,97
16	5,83 ± 0,11	5,07 ± 0,10	1,83
18	5,93 ± 0,09	5,27 ± 0,12	1,80
20	6,00 ± 0,05	5,37 ± 0,08	1,81
22	6,00 ± 0,00	5,40 ± 0,05	1,79
24	6,00 ± 0,00	5,40 ± 0,00	1,78

ΔDO dihitung sebagai selisih antara DO akhir (jam ke-24) dan DO awal (jam ke-0). Nilai ini mencerminkan kemampuan alat dalam meningkatkan kadar oksigen selama 24 jam perlakuan. Berdasarkan hasil pengamatan, aerator diffuser (P1) menunjukkan performa tertinggi dalam meningkatkan kadar DO, dengan ΔDO sebesar 3,50 mg/L dalam waktu 24 jam. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan pompa sirkulasi (P2) yang mencatat peningkatan sebesar 2,70 mg/L.

Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme difusi mikrogelembung yang dihasilkan oleh aerator lebih efektif dalam memfasilitasi transfer oksigen dari udara ke air dibandingkan sirkulasi turbulensi yang dihasilkan oleh pompa. Pada beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa aerator diffuser memiliki efisiensi transfer oksigen yang tinggi, ekonomis dan perawatan yang mudah (Herawati *et al.*, 2018). Penggunaan aerator diffuser pada bak budidaya sangat efektif untuk menstabilkan kadar oksigen terlarut karena kestabilan DO dapat terjaga dengan bantuan aerator yang memompa oksigen ke dalam media aerasi (Herawati *et al.*, 2018). Hal ini sesuai dengan pernyataan Rizaqi (2016), bahwa aerator diffuser memberikan nilai DO yang lebih baik jika dibandingkan dengan aerasi biasa.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Abuzar *et al.* (2012), bahwa nilai koefisien transfer gas (K_{la}) sebesar 0,045/ menit menyebabkan kenaikan konsentrasi oksigen yang semula sebesar 5,97 mg/L menjadi 6,34 mg/L dengan menggunakan aerator diffuser. Peningkatan nilai oksigen terlarut (DO) selama proses aerasi berlangsung menandakan terjadinya proses transfer gas secara difusi antara air dan udara (Lutfihani & Alfani, 2015).

Oksigen dalam perairan dibutuhkan oleh organisme akuatik karena digunakan untuk proses respirasi (Scabra & Budiardi, 2020). Selain dimanfaatkan oleh organisme akuatik untuk respirasi, oksigen terlarut juga berperan dalam

menurunkan tingkat pencemaran perairan melalui kemampuannya dalam proses reduksi dan oksidasi terhadap zat organik maupun anorganik (Scabra *et al.*, 2022).

Standar deviasi yang rendah menunjukkan bahwa hasil ulangan cukup stabil dan replikasi antar unit menunjukkan konsistensi performa masing-masing alat. Ini memberikan kepercayaan terhadap reliabilitas hasil dan memperkuat validitas kesimpulan bahwa aerator diffuser lebih efisien untuk proses peningkatan DO pada sistem tertutup volume kecil seperti kolam fiber 1000 L. Sebaliknya, pada unit kontrol tanpa alat aerasi terjadi penurunan DO sebesar 0,72 mg/L. Penurunan ini menunjukkan bahwa tanpa pasokan oksigen eksternal, aktivitas mikroorganisme dan konsumsi oksigen oleh air akan terus menurunkan kandungan oksigen terlarut.

Data ini mendukung pentingnya penggunaan sistem aerasi aktif dalam sistem budidaya skala kecil, terutama pada lingkungan yang cenderung statis dan minim pertukaran udara bebas. Penurunan kandungan oksigen terlarut juga didukung karena adanya bahan organik seperti sisa pakan yang tidak termakan, selanjutnya terakumulasi di dalam perairan karena tidak dilengkapi dengan sistem aerasi (Scabra *et al.*, 2022).

Konsumsi Energi Total dan Analisis Efisiensi Energi Sistem Aerasi dan Sirkulasi

Konsumsi energi listrik untuk masing-masing perlakuan dihitung berdasarkan daya alat dan durasi operasional selama 24 jam. Kedua perlakuan menggunakan alat dengan spesifikasi daya listrik sebesar 35 watt, atau setara dengan 0,035 kW. Sehingga:

- Konsumsi energi P1 (Aerator Diffuser) = $0,035 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 0,84 \text{ kWh}$
- Konsumsi energi P2 (Pompa Sirkulasi) = $0,035 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 0,84 \text{ kWh}$

Dengan konsumsi energi yang identik, perbandingan efisiensi kerja alat dapat dilihat dari nilai ΔDO per kWh yang dihasilkan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa baik aerator diffuser (P1) maupun pompa sirkulasi (P2) memiliki konsumsi energi total yang sama, yaitu 0,84 kWh dalam 24 jam operasi. Namun, perbedaan signifikan terlihat pada hasil peningkatan oksigen terlarut (ΔDO) yang dihasilkan masing-masing alat. Aerator diffuser menghasilkan peningkatan DO sebesar 3,50 mg/L, sementara pompa sirkulasi hanya mencapai 2,70 mg/L. Dengan menggunakan data tersebut, efisiensi energi masing-masing perlakuan dalam satuan mg DO/kWh dapat dihitung sebagai berikut:

- Efisiensi P1 = $3,50 \text{ mg/L} \div 0,84 \text{ kWh} = 4,17 \text{ mg/L per kWh}$
- Efisiensi P2 = $2,70 \text{ mg/L} \div 0,84 \text{ kWh} = 3,21 \text{ mg/L per kWh}$

Nilai efisiensi energi ini menunjukkan bahwa aerator diffuser lebih unggul dalam memanfaatkan daya listrik untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam kolam (Ali *et al.*, 2024). Hal ini disebabkan oleh karakteristik gelembung mikro yang dihasilkan aerator diffuser, yang memiliki luas permukaan lebih besar dan waktu kontak lebih lama di dalam air, sehingga meningkatkan efisiensi transfer

oksigen dari udara ke air. Di sisi lain, meskipun pompa sirkulasi meningkatkan turbulensi dan mempercepat pertukaran gas di permukaan, mekanisme ini terbatas oleh kapasitas difusi alami udara dan tidak menyuplai oksigen secara langsung ke kolom air (Alfonso *et al.*, 2022).. Oleh karena itu, dalam konteks efisiensi energi pada unit budidaya skala kecil, aerator diffuser memberikan performa yang lebih baik dibandingkan sistem sirkulasi air.

Efisiensi Sistem Aerasi secara Ekonomi dan Penerapan di Lapangan

Dari hasil analisis sebelumnya, diketahui bahwa aerator diffuser memiliki nilai efisiensi energi sebesar 4,17 mg/L per kWh, lebih tinggi dibanding pompa sirkulasi sebesar 3,21 mg/L per kWh. Dalam konteks budidaya skala kecil, efisiensi ini bukan hanya penting dari sisi teknis peningkatan kualitas air, namun juga menyangkut aspek ekonomi operasional, khususnya dalam pengelolaan biaya listrik harian (Tung *et al.*, 2023).. Jika tarif listrik di wilayah operasional budidaya berkisar antara Rp1.500–Rp1.700 per kWh, maka biaya operasional aerasi selama 24 jam untuk masing-masing alat adalah sekitar Rp1.260–Rp1.428 per hari. Dengan demikian, meskipun biaya operasional keduanya serupa, aerator diffuser memberikan output DO yang lebih besar per rupiah yang dikeluarkan.

Penerapan hasil penelitian ini menjadi sangat relevan dalam pengambilan keputusan pemilihan alat aerasi untuk unit budidaya skala kecil, seperti kolam fiber bundar berkapasitas 1.000 liter yang banyak digunakan dalam kegiatan pembesaran benih atau pendederan awal. Aerator diffuser dinilai lebih efisien untuk mengantisipasi fluktuasi kadar oksigen terlarut, terutama pada malam hari saat fotosintesis tidak berlangsung (Giang *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2021). Selain itu, alat ini juga memiliki konstruksi sederhana, fleksibel dalam pemasangan, dan dapat digabungkan dengan teknologi biofilter jika dibutuhkan. Namun demikian, sistem sirkulasi tetap memiliki keunggulan dalam hal menjaga homogenitas suhu dan distribusi pakan dalam kolam, sehingga dalam beberapa skenario budidaya intensif, kombinasi kedua alat justru dapat memberikan hasil terbaik (Boyd & McNevin, 2020; He *et al.*, 2023).

Secara keseluruhan, studi ini menunjukkan bahwa pilihan sistem aerasi perlu mempertimbangkan efisiensi energi, kebutuhan spesifik sistem budidaya, dan tujuan produksi. Untuk budidaya dengan kendala daya listrik atau kebutuhan efisiensi tinggi, aerator diffuser menjadi pilihan utama. Namun, pada sistem terintegrasi dengan limbah organik tinggi atau bioflok, pompa sirkulasi dapat dilibatkan sebagai pelengkap untuk menjaga dinamika air dan kualitas lingkungan akuakultur secara keseluruhan (Gichana *et al.*, 2019).

Analisis Statistik Peningkatan DO

Hasil analisis variansi (ANOVA) pada Tabel 2. menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik terhadap peningkatan oksigen terlarut (ΔDO) antara perlakuan aerator diffuser (P1), pompa sirkulasi (P2), dan kontrol.

Nilai F hitung yang sangat besar serta p-value yang jauh di bawah taraf signifikansi 5% ($p < 0,00001$) mengindikasikan bahwa variasi peningkatan DO antar perlakuan bukan disebabkan oleh faktor acak semata, melainkan karena adanya pengaruh nyata dari jenis perlakuan yang diberikan. Hal ini menguatkan bahwa sistem aerasi yang diterapkan memberikan dampak perbedaan yang signifikan dalam meningkatkan kadar DO di dalam air budidaya.

Tabel 2. Hasil ANOVA Satu Arah

Sumber	Jumlah Kuadrat (SS)	Derajat Bebas (df)	F Hitung	p-value
Perlakuan	30.1448	2	4.99×10^{31}	< 0.0000000001
Residual/Error	1.81×10^{-30}	6	—	—

Hasil analisis Tukey HSD juga menunjukkan bahwa semua pasangan perlakuan memiliki perbedaan yang signifikan. Aerator diffuser (P1) memberikan peningkatan DO tertinggi secara signifikan dibandingkan dengan pompa sirkulasi (P2), dan keduanya menunjukkan hasil yang jauh lebih tinggi dibandingkan kontrol yang tidak diberi perlakuan aerasi. Rata-rata peningkatan DO untuk P1 tercatat sebesar 3,50 mg/L, sedangkan P2 mencapai 2,70 mg/L, dan kontrol hanya sebesar -0,72 mg/L, yang mengindikasikan penurunan DO secara alami akibat tidak adanya proses aerasi.

Peningkatan signifikan pada aerator diffuser menunjukkan bahwa aerator diffuser tidak hanya mampu meningkatkan DO secara lebih cepat dan stabil, tetapi juga memberikan efisiensi yang lebih baik dalam mempertahankan kondisi oksigen terlarut dalam sistem tertutup selama 24 jam. Selain itu, visualisasi data dalam bentuk boxplot memperkuat hasil ini, dengan sebaran data yang konsisten dan perbedaan median yang jelas antar perlakuan. Oleh karena itu, pemilihan sistem aerasi sangat krusial dalam budidaya skala kecil, dan hasil penelitian ini memberikan bukti kuat bahwa penggunaan aerator diffuser lebih direkomendasikan dibandingkan pompa sirkulasi dalam upaya menjaga kualitas air, khususnya kadar oksigen terlarut (Wang *et al.*, 2020).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aerator diffuser secara signifikan lebih efektif dan efisien dalam meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) dibandingkan pompa sirkulasi maupun tanpa perlakuan. Dengan konsumsi energi yang sama, aerator diffuser menghasilkan ΔDO lebih tinggi dan efisiensi energi yang lebih baik, yaitu 4,17 mg/L per kWh dibanding 3,21 mg/L per kWh pada pompa sirkulasi. Hasil ini memberikan dasar ilmiah bagi pembudidaya skala kecil untuk memilih sistem aerasi yang tepat, terutama dalam kondisi keterbatasan energi dan kebutuhan efisiensi operasional tinggi. Untuk aplikasi lebih luas, kombinasi antara sistem aerasi dan sirkulasi tetap dapat dipertimbangkan sesuai dengan karakteristik sistem budidaya yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Budidaya Ikan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya atas fasilitas dan dukungan teknis selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pusat Studi Pesisir dan Kelautan Universitas Brawijaya atas bantuan pemahaman konsep turut menunjang kelancaran studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuzar, S.S.; Yogi, D.P.; & Reza, E.E. (2012). Koefisien transfer gas (kla) pada proses aerasi menggunakan tray aerator bertingkat 5. *Jurnal Teknik Lingkungan* 9 (2).
- Alfonso, S., Zupa, W., Spedicato, M., Lembo, G., & Carbonara, P. (2022). Using telemetry sensors mapping the energetic costs in european sea bass (*dicentrarchus labrax*), as a tool for welfare remote monitoring in aquaculture. *Frontiers in Animal Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.885850>
- Ali, S., Waqas, W., Bakky, M., Zada, S., Saif, U., Hasan, M., ... & Wang, H. (2024). Implications of microalgal–bacterial interactions in modern aquaculture practices: a review of the current knowledge. *Reviews in Aquaculture*, 17(1). <https://doi.org/10.1111/raq.12980>
- Bahtiar, A. (2023). Pemasangan panel surya sebagai sumber energi listrik pompa sirkulasi air untuk budidaya ikan mas. *dh-saintika*, 1(1), 1-5. <https://doi.org/10.24198/saintika.v1i1.44663>.
- Boyd, C. and McNevin, A. (2020). Aerator energy use in shrimp farming and means for improvement. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(1), 6-29. <https://doi.org/10.1111/jwas.12753>
- Boys, C., Baldwin, D., Ellis, I., Pera, J., & Cheshire, K. (2021). Review of options for creating and maintaining oxygen refuges for fish during destratification-driven hypoxia in rivers. *Marine and Freshwater Research*, 73(2), 200-210. <https://doi.org/10.1071/mf20364>
- Engle, C., Kumar, G., & Senten, J. (2021). Resource-use efficiency in us aquaculture: farm-level comparisons across fish species and production systems. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 259-275. <https://doi.org/10.3354/aei00405>
- Giang, H., Phan, T., Vŭ, H., & Út, V. (2024). The use of different air diffusers on whiteleg shrimp, *penaeus vannamei* in recirculating aquaculture system: effects on water quality and shrimp growth. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 52(1), 163-173. <https://doi.org/10.3856/vol52-issue1-fulltext-2951>

- Gichana, Z., Liti, D., Drexler, S., Zollitsch, W., Meulenbroek, P., Wakibia, J., ... & Waidbacher, H. (2019). Effects of aerated and non-aerated biofilters on effluent water treatment from a small-scale recirculating aquaculture system for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Die Bodenkultur Journal of Land Management Food and Environment*, 70(4), 209-219. <https://doi.org/10.2478/boku-2019-0019>
- He, K., Tong, C., He, L., Liu, H., & Hu, H. (2023). Design and testing of a new type of push-water aerator device for integrated pond aquaculture systems.. <https://doi.org/10.20944/preprints202312.0639.v1>
- Herawati, H., Apriliani, I.M., Dewanti, L.P dan Rizal, A. 2018. Increased Dissolved Oxygen On Cultivation of Nilem (*Osteochilus* sp.) With the addition of Aerator Diffuser. *Global Scientific Journal*. 6(5): 238-247.
- Kurniawan, A., Pramudia, Z., Amin, A. A., Nurjannah, N., Hidayat, W., Kurniati, E., Lusiana, E. D., Ardian, G., & Amenan, M. (2021). Analisis Dampak Kawasan Sentra Budidaya Lele Terpadu (KSBLT) Kabupaten Tuban di Kecamatan Merakurak Terhadap Usaha Budidaya Lele di Kecamatan Tuban. *Rekayasa*, 14(2), 288–295. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i2.11859>
- Kurniawan, A., Pramudia, Z., Raharjo, Y. T., Julianto, H., & Amin, A. A. (2021). Kunci Sukses Budidaya Udang Vaname: Pengelolaan Akuakultur Berbasis Ekologi Mikroba: Vol. UB Press. https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=cXiAEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=info:wuh8xLWvKNMJ:scholar.google.com&ots=8VMoeHkOs2&sig=HXUmpsKXpOfTRrAAPsifVtphrIg&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Laktuka, K., Kalnbalķīte, A., Sniega, L., Logins, K., & Lauka, D. (2023). Towards the sustainable intensification of aquaculture: exploring possible ways forward. *Sustainability*, 15(24), 16952. <https://doi.org/10.3390/su152416952>
- Lutfihani, A. & Alfani P. (2015). Analisis Penurunan Kadar Besi (Fe) dengan menggunakan Tray Aerator dan Diffuser Aerator. *Jurnal Teknik* 4 (1):1-4.
- Mohan, M., Prakash, B., Prasad, G., Srinu, R., Konduri, A., Goud, P., ... & Kumar, M. (2022). Application and importance of aeration system in aquaculture pond: a review. *Asian Journal of Microbiology Biotechnology and Environmental Sciences*, 370-376. <https://doi.org/10.53550/ajmbes.2022.v24i02.027>
- Mugisidi, D., Roza, E., Hamzah, A., Imanda, R., Siswanto, A., Rozak, Q., ... & Zaki, F. (2023). Pendampingan pengembangan kincir air kolam ikan panti asuhan yatim muhammadiyah lenteng agung. *Bemas Jurnal Bermasyarakat*, 4(1), 141-147. <https://doi.org/10.37373/bemas.v4i1.671>

- Mulyani, Y., Pratiwi, D., & Agung, M. (2021). Penyuluhan daring manajemen kualitas air untuk budidaya ikan dalam ember di desa cipacing, kecamatan jatinangor, kabupaten sumedang, jawa barat. *Farmers Journal of Community Services*, 2(1), 42. <https://doi.org/10.24198/fjcs.v2i1.31546>
- Nasution, M. and Prayogi, M. (2018). Pemberdayaan masyarakat dan penerapan teknologi budidaya ikan lele sebagai usaha warga masyarakat kota binjai. *Khadimul Ummah*, 2(1). <https://doi.org/10.21111/ku.v2i1.2655>
- Pramudia, Z., Faqih, A. R., Setiawan, A. F., Amenan, M., & Kurniawan, A. (2022). Growth Analysis and Identification of Viral Diseases (WSSV, IHNV, IMNV) and AHPND in White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Cultivation using Millennial Shrimp Farming (MSF) System. *J-PAL*, 13(2), 2087–3522. <https://doi.org/10.21776/ub.jpall.2022.013.02.04>
- Pramudia, Z., Faqih, Abd. R., & Kurniawan, A. (2022). Analysis of Growth and Water Quality Dynamics in vannamei white Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Cultivation Using the Millennial Shrimp Farming System in Indonesia. *Ecology, Environment and Conservation*, 664–671. <https://doi.org/10.53550/eec.2022.v28i02.013>
- Pramudia, Z., Kurniawan, A., Prayogo, T. B., Amin, A. A., Susanti, Y. A. D., Zamzami, I. M. Al, & Moehammad, K. S. (2024). Profitability Analysis and Sensitivity Level of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Cultivation Using the Millennial Shrimp Farming (MSF) System. *Economic and Social of Fisheries and Marine Journal*, 011(02), 155–165. <https://doi.org/10.21776/ub.ecsofim.2024.011.02.01>
- Rizaqi, M. A., Mulyadi. Rusliadi. (2016). Growth and Survival Rate of Nilem (*Osteochilus hasselti*) on Different Stocking Density. *Student Online Journal. Faculty of Fisheries and Marine Science. Riau University*. Vol.3 (2): 1-9.
- Scabra, A R, & Budiardi, T. (2020). Optimization of *Anguilla bicolor* oxygen consumption in alkalinity culture media. *Indonesia Journal Of Tropical Aquatic*, 3(1), 7–13. <https://doi.org/10.22219/ijota.v3i1.12361>
- Scabra, A. R., Afriadin., & Marzuki, M. (2022). Efektivitas Peningkatan Oksigen Terlarut Menggunakan Perangkat Microbubble Terhadap Produktivitas Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Perikanan*. 12(1): 13-21.
- Sudirman, A., Rahadjo, S., Rukmono, D., Islam, I., & Suriyadin, A. (2023). Analisis kualitas air dan kepekatan bioflok pada budidaya polikultur ikan lele (*clarias* sp.) dan ikan nila (*oreochromis niloticus*) sistem bioflok. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan*, 18(2), 140-151. <https://doi.org/10.31851/jipbp.v18i2.13061>

- Tung, T., Nga, N., Van, H., Vu, T., Kuligowski, K., Cenian, A., ... & Tran, Q. (2023). Energy efficiency and environmental benefits of waste heat recovery technologies in fishmeal production plants: a case study in vietnam. *Sustainability*, 15(17), 12712. <https://doi.org/10.3390/su151712712>
- Wafi, A., Ariadi, H., Khumaidi, A., & Muqsith, A. (2021). Pemetaan kesesuaian lahan budidaya rumput laut di kecamatan banyuputih, situbondo berdasarkan indikator kimia air. *Samakia Jurnal Ilmu Perikanan*, 12(2), 160-169. <https://doi.org/10.35316/jsapi.v12i2.1346>
- Wang, M., Mo, H., Liu, G., Qi, L., Yu, Y., Fan, H., ... & Wang, H. (2020). Impact of scaling on aeration performance of fine-pore membrane diffusers based on a pilot-scale study. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61814-5>
- Zhang, Z., Wu, Y., Zhang, Y., Cao, Y., Chen, S., Tian, Z., ... & Chen, A. (2021). Effects of adding em bacteria and mechanical aeration on water quality, growth and antioxidant status of *meretrix meretrix* and *exopalaemon carinicauda* farmed in the clam–shrimp polyculture system. *Aquaculture Research*, 53(5), 1823-1832. <https://doi.org/10.1111/are.15710>