

Studi Pendahuluan Sistem Akuakultur Cerdas Berbasis *Online Monitoring* Terhadap Unjuk Kerja Kincir Aerasi

Muh. Anis Mustaghfirin¹, Priyambodo Nur Ardi Nugroho^{2*}, Dwi Sasmita Aji Pambudi³, Eky Novianarenti⁴

^{1,2,3,4}Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{1,2,3,4}Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia

E-mail: mustaghfirin@ppns.ac.id, priyambodo@ppns.ac.id, dwi.sasmita@ppns.ac.id, ekynovianarenti@ppns.ac.id

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 18 Februari 2022

Direvisi: 17 Juni 2022

Diterima: 29 Juni 2022

Artikel ini membahas studi pendahuluan pengembangan kincir aerasi untuk tambak udang menggunakan sistem akuakultur cerdas terintegrasi untuk mendukung intensifikasi. Dua kincir aerasi dengan fasa yang berbeda telah berhasil dipasang. Pengujian dilakukan pada dua tipe motor berbeda, yang dimaksudkan guna memahami unjuk kerja dari masing-masing jenis motor pada kincir aerasi, dimana perbandingan nilai kecepatan pada motor kincir 1 fasa sebesar 102 rpm dan motor kincir 3 fasa sebesar 110.3 rpm. Data hasil pengamatan unjuk kerja motor kincir aerasi dapat dilihat melalui smartphone menggunakan aplikasi website. Data yang ditampilkan dari hasil pengamatan berupa data tegangan, arus, frekuensi, daya, faktor daya, dan daya yang dihasilkan motor kincir. Hasil pengujian menunjukkan kinerja motor kincir aerasi yang bekerja pada keadaan normal dengan persentase kesalahan pengukuran rata-rata sebesar 0,23% dibawah batas error yang dapat diterima 0,5%. Penelitian ini menjadi landasan untuk sistem akuakultur cerdas yang dapat dikembangkan di dalam negeri untuk mendukung industri lokal di Indonesia.

Abstract

Keywords:

paddlewheel aerator;
online monitoring;
smart aquaculture.

This article discusses a preliminary study of developing a paddlewheel aerator for shrimp ponds using an integrated intelligent aquaculture system to support intensification. Two paddlewheel aerators with different phases have been successfully installed. The test was carried out on two different types of motors, which were intended to comprehend the performance of every motor on a paddlewheel aerator. The ratio of the speed values for a single-phase motor was 102 rpm and for a 3-phase motor was 110.3 rpm. The data from the performance observation of the aeration wheel motor can be viewed via a smartphone using a website application. The data displayed from the observations are in the form of data on voltage, current, frequency, power, power factor, and the power generated by the pinwheel motor. The test results show the performance of the aeration wheel motor that works under normal conditions with an average measurement error of 0.23%, below the acceptable error limit of 0.5%. This research forms the basis for a smart aquaculture system that can be developed domestically to support local industries in Indonesia.

Penulis korespondensi:

Priyambodo Nur Ardi Nugroho

E-mail: priyambodo@ppns.ac.id

1. Pendahuluan

Industri akuakultur telah menjadi sektor dominan dalam produksi makanan dan terus berkembang sebagai industri yang mendukung perekonomian bangsa. Menurut data dari penelitian sebelumnya [1], dalam hal produksi tahunan perikanan budidaya secara global, Indonesia menempati urutan nomor empat sebagai negara paling produktif. Produk perikanan budidaya yang paling banyak diekspor adalah udang, ikan, dan rumput laut. Indonesia merupakan negara maritim yang terletak di sepanjang garis khatulistiwa dengan iklim tropis sangat potensial untuk pengembangan industri akuakultur. Sebuah survei terbaru [2] menempatkan Indonesia sebagai garis pantai terpanjang ketiga dengan 95.181 km.

Perikanan budidaya di Indonesia memberikan kontribusi lebih dari 40% untuk pasokan ikan dibandingkan dengan hanya sekitar 10% pada tahun 1960 dan diproyeksikan melebihi produksi perikanan tangkap pada tahun 2026 dalam skenario bisnis yang ada [3]. Sekitar 8% dari total produksi udang dunia atau setara dengan hampir setengah juta ton dihasilkan pada tahun 2004. Sebuah studi sebelumnya [4] melaporkan bahwa lebih dari setengah juta hektar wilayah di Indonesia ditempati oleh budidaya pada tahun 1999, 60% di antaranya adalah air payau, tambak, 28% di antaranya adalah budidaya padi dan ikan terpadu, dan sisanya adalah tambak air tawar.

Sistem produksi budidaya perikanan sangat beragam, bervariasi dari model intensif hingga ekstensif [5]. Sistem akuakultur ekstensif mencakup pembiakan hingga pemanenan produk perikanan, di mana campur tangan manusia terutama dengan menambah luasan area. Hasil yang didapat dari sistem ini relatif lebih rendah dari 50 kg per hektar per tahun. Di lain pihak, sistem budidaya intensif menghasilkan hasil yang sangat tinggi, menurut penelitian sebelumnya [6]. Tetapi permintaan energi untuk sistem intensif juga akan sangat tinggi [7].

Biaya untuk menjaga tingkat kualitas air merupakan salah satu masalah penting dalam budidaya intensif. Ada banyak penelitian, yang dipublikasikan terkait sistem aerasi pada air kolam [8], dan desain kincir aerasi [9], menjelaskan bahwa konsentrasi oksigen terlarut (DO), temperatur, kadar garam, dan kandungan pH di kolam air adalah parameter yang paling penting untuk memastikan kondisi fisik dan kelangsungan hidup hewan [10]. Biota laut seperti ikan dan udang berkembang biak di kolam sama sekali berbeda dari spesies terkait yang hidup di laut atau sungai. Kebutuhan akan DO yang tinggi pada tambak menjadi hal yang utama, terutama pada sistem budidaya intensif. Sistem aerasi yang tepat dirancang untuk meningkatkan kandungan oksigen untuk menghindari kekurangan DO dan meningkatkan produksi [11].

Pengurangan oksigen terlarut (DO) dalam air dikaitkan dengan efek perubahan iklim [12]. Beberapa metode dalam menjaga kondisi DO sudah diterapkan sebelumnya. Sistem kontak oksigen murni meningkatkan konsentrasi DO dengan mengeluarkan gelembung oksigen ke dalam air [13]. Sistem *bubbler* dan *splasher* menggunakan motor dan pompa dengan jaringan listrik atau mesin diesel di daerah pedesaan untuk meningkatkan laju transfer oksigen antara udara dan air. Secara tradisional

[14], telah dikemukakan bahwa jenis *aerator paddlewheel* / kincir aerasi dan *propeller aspirator pump* adalah jenis aerator yang paling umum digunakan karena tingkat transfer oksigen dengan efisiensi tinggi antara udara dan air [15], [16]. Selain itu, jenis kincir aerasi dapat membuat kolam lebih mudah dibersihkan karena sisa makanan dan kotoran dapat diarahkan ke area tertentu di kolam [17], [18], [19].

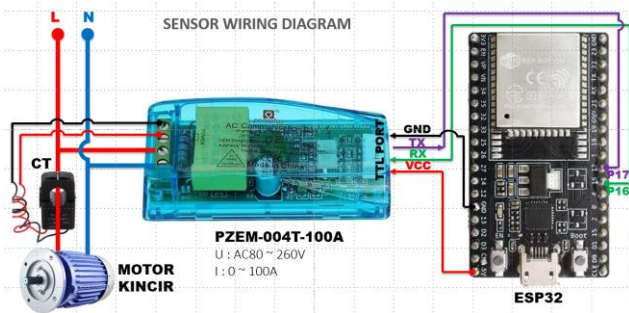
Pada penelitian sebelumnya, kincir aerasi biasanya berjalan siang dan malam secara terus menerus, meskipun tingkat DO di dalam kolam sudah jenuh [6]. Konsekuensi dari praktik ini adalah pelepasan DO dengan gas, pemborosan energi, dan biaya listrik yang tinggi. Beberapa jenis penelitian telah dilakukan untuk mengontrol tingkat DO yang sesuai dan mengurangi konsumsi daya. Peneliti sebelumnya telah menunjukkan beberapa cara untuk menjaga konsumsi energi, misalnya kincir aerasi diatur dalam mode intermiten [20]. Penelitian lain menyarankan kontrol otomatisasi [21], dan mencoba untuk menerapkan kontrol cerdas yang efektif untuk mengurangi konsumsi energi [22], [23].

Penelitian ini membahas studi pendahuluan pengembangan kincir aerasi untuk tambak udang menggunakan sistem akuakultur cerdas terintegrasi untuk mendukung intensifikasi. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan hasil analisis terhadap performansi motor kincir aerasi baik dari konsumsi daya yang digunakan dan putaran yang dihasilkan oleh kincir aerasi. Besarnya putaran yang dihasilkan oleh kincir aerasi turut mempengaruhi ketinggian percikan air yang dihasilkan. Penelitian juga bertujuan untuk mengetahui hasil perbandingan performansi antara kincir aerasi yang baru dibuat dan kincir aerasi *existing* yang telah terpasang sebelumnya di kolam tambak. Penelitian tersebut akan menjadi landasan untuk desain kincir aerasi cerdas yang dapat dikembangkan di dalam negeri untuk mendukung industri lokal di Indonesia.

2. Metode

Pelaksanaan pengujian mengacu pada prosedur sertifikasi SNI produk kincir air SNI 8679-1:2018, Fasilitas Kincir Dalam Pembudidayaan Ikan – Bagian 1: fase [24]. Cakupan skema sertifikasi ini ditujukan sebagai tolok ukur pelaksanaan Sertifikasi SNI produk kincir aerasi, yaitu rangkaian 2 atau 4 impeler atau roda yang dirakit menggunakan *gearbox* dan dioperasikan oleh motor listrik.

ESP32 merupakan mikrokontroler yang ditampilkan oleh *Espressif System* sebagai penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini telah dirancang modul *WiFi* dalam *chip* sehingga dapat menunjang pembuatan sistem aplikasi *Internet of Things* [25]. Mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T terintegrasi menjadi satu di dalam module box yang diletakkan di dalam panel kontrol motor kincir, dengan probe sensor arus CT split core yang terpasang pada salah satu fasa kabel yang terhubung ke motor kincir. Sedangkan kabel sensor tegangan terhubung dengan kabel fasa dan kabel netral dari sumber listrik. Koneksi *pin* antara mikrokontroler ESP32 dengan sensor PZEM-004T dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Koneksi Pin Sensor PZEM-004T



(a) (b)

Gambar 2. Proses Instalasi Kelistrikan Motor Kincir Aerasi
(a) 1 Fasa (b) 3 Fasa



Gambar 3. Roadmap Pengembangan Sistem Cerdas Budidaya Udang Berkelanjutan

Pengujian dilakukan terhadap motor kincir 1 fasa dan 3 fasa yang dilaksanakan di laboratorium Mesin Listrik, PPNS. Selain itu kinerja kincir air juga dibandingkan dengan kincir air yang sudah ada di kolam uji. Kabel dari motor kincir dihubungkan dengan panel kontrol motor yang telah dihubungkan dengan regulator power supply agar nilai tegangan sumber dapat dinaikkan secara perlahan untuk mengetahui respon motor kincir aerasi. Setelah itu dilakukan proses instalasi kabel motor kincir terhadap sumber tegangan, yang dapat dilihat pada Gambar 2, dimana L, L1, L2, L3 menunjukkan koneksi kabel fasa dan N menunjukkan koneksi kabel netral. Alur penelitian yang dilakukan, dimulai dari pengidentifikasian masalah, penelaahan sumber literatur, penentuan rumusan masalah, pengambilan data lapangan, perencanaan & suvei komponen, pembuatan alat, pengujian & pengambilan data, penyusunan laporan, sampai dihasilkan Purwarupa I.

Roadmap yang direncanakan untuk diikuti dalam rancang bangun Sistem Cerdas Budidaya Udang Berkelanjutan ditunjukkan pada Gambar 3. Mulai dari rekognisi masalah, studi pustaka, rumusan masalah, pengambilan data lapangan, perencanaan & suvei komponen, pembuatan alat, pengujian & pengambilan data, penyusunan laporan, sampai dihasilkan purwarupa I. Kegiatan berikut adalah pembuatan purwarupa II dan III, yaitu riset terkait Pakan Ikan Cerdas (*Smart Autofeeder*) berbasis *Aquaculture Intelligence* dan Sistem Pengolah Limbah Cerdas beserta Integrasi *Autofeeder* dengan Paddle Wheel Aerator di tambak udang. Dilanjutkan dengan Purwarupa IV yaitu Sistem Energi Cerdas berbasis Floating PV dan Penerapan EBT sebagai *green technology* pada tambak udang. Pada akhirnya diharapkan dapat tercipta integrasi dari keseluruhan sub sistem dan pengembangan sistem sebelumnya, yaitu dihasilkan sebuah Sistem Cerdas Pengelolaan Tambak Udang beserta Sistem Kontrol dan Monitoring Tambak Udang Terintegrasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil pembacaan yang dihasilkan oleh sensor PZEM-004T terhadap kincir 1 dan 3 fasa dan untuk mengetahui hasil kalibrasi sensor yang digunakan. Parameter yang diamati pada pengujian ini, diantaranya adalah nilai tegangan, arus, frekuensi, daya, dan kecepatan motor. Hasil pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter terhadap nilai tegangan, arus, frekuensi, dan daya motor, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Hasil Pengukuran Sensor PZEM-004T dengan Multimeter

Besarnya kecepatan motor diukur menggunakan tachometer pada poros kincir aerasi, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Hasil pengujian terhadap parameter motor kincir aerasi 1 fasa dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Sedangkan hasil pengujian pada motor kincir aerasi 3 fasa dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Berdasarkan data pada Tabel 1, error hasil pengukuran yang didapatkan dari masing-masing parameter tegangan, arus, dan frekuensi adalah 0,05%; 0,40%; 0,08%. Sedangkan pada Tabel 2, error hasil pengukuran yang didapatkan dari masing-masing parameter tegangan, arus, dan frekuensi, adalah 0,34%; 0,49%; 0,02%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor tersebut akurat dan dapat digunakan karena error pembacaan tidak melebihi 0,5% sesuai dengan batas akurasi pengukuran yang tercantum pada PZEM-004T User Manual.



Gambar 5. Proses Pengujian Performansi Motor Kincir Aerasi menggunakan *Tachometer*

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T pada Kincir 1 Fasa

No	Parameter	Satuan	Alat Ukur	Sensor	Error (%)
1	Tegangan	<i>Volt (V)</i>	220,1	220	0,05
2	Arus	<i>Ampere (A)</i>	1,42	1,416	0,40
3	Frekuensi	<i>Hz</i>	50,04	50	0,08
4	Daya	<i>Watt (W)</i>	-	279	-
5	<i>Power Factor</i>		-	0,87	-
6	Kecepatan Motor	<i>Rotation per Minute (RPM)</i>	102	-	-
7	<i>Gear Ratio</i>		1 : 14	-	-

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T pada Kincir 3 Fasa

No	Parameter	Satuan	Alat Ukur	Sensor	Error (%)
1	Tegangan	<i>Volt (V)</i>	380	381,3	0,34
2	Arus	<i>Ampere (A)</i>	0,603	0,6	0,49
3	Frekuensi	<i>Hz</i>	50,01	50	0,02
4	Daya	<i>Watt (W)</i>	-	131,6	-
5	<i>Power Factor</i>		-	0,466	-
6	Kecepatan Motor	<i>Rotation per Minute (RPM)</i>	110,3	-	-
7	<i>Gear Ratio</i>		1 : 14	-	-

Proses pengujian juga dilakukan terhadap dua buah motor kincir yang baru dibuat, dimana terdapat perbedaan nilai rasio gigi dengan motor kincir *existing* yang telah terpasang sebelumnya di kolam tambak. Gigi motor tersebut menghubungkan *shaft* motor dengan poros yang memutar bilah daun kincir aerasi. Karakteristik dari ketiga motor kincir air dapat diilustrasikan pada Tabel 3.

Ketiga kincir aerasi beroperasi pada frekuensi yang sama dari sumber fasa yang sama. Daya yang dikonsumsi pada motor kincir baru (Kincir Aerasi 1 dan 2) relatif lebih tinggi daripada kincir yang ada. Pada saat yang sama, perbedaan tegangan diantara ketiga motor kincir aerasi tidak signifikan. Arus (tanpa beban) pada motor kincir baru diukur sebelum pemasangan untuk dimasukkan ke dalam kolam tambak. Oleh karena itu, arus (tanpa beban) pada motor kincir aerasi *existing* tidak dapat teridentifikasi. Secara umum, arus beban untuk motor kincir baru sedikit lebih tinggi dari motor kincir yang ada. Modifikasi rasio gigi pada kincir air yang baru bisa menjadi alasan dilakukannya variasi terhadap karakteristik motor.

Tabel 3. Karakteristik Motor

No	Parameter	Unit	Kincir Aerasi 1	Kincir Aerasi 2	Kincir Aerasi <i>existing</i>
1	Daya (dengan beban)	<i>W</i> <i>HP</i>	952.59 1.27	848.04 1.13	831.57 1.12
2	Tegangan	<i>Volt (V)</i>	395	395	390
3	Arus (tanpa beban)	<i>Ampere</i>	0.90	0.84	-
	(dengan beban)	<i>Ampere</i>	1.64	1.46	1.45
4	Frekuensi	<i>Hz</i>	50	50	50
5	Kecepatan Motor	<i>RPM</i>	108.9	109.4	104
6	<i>Gear Ratio</i>		1 : 13.5	1 : 13.5	1 : 14

Tabel 4. Pasokan Listrik

No	Parameter	Unit	Kincir Aerasi 1	Kincir Aerasi 2	Kincir Air <i>existing</i>
1	Daya (tanpa beban)	<i>W</i> <i>HP</i>	621.51 0.83	559.03 0.75	- -
2	Tegangan	<i>Volt (V)</i>	395	396	390
3	Arus (tanpa beban)	<i>Ampere</i>	1.07	0.96	-
	(dengan beban)	<i>Ampere</i>	1.72	1.69	1.48
4	Frekuensi	<i>Hz</i>	50	50	50

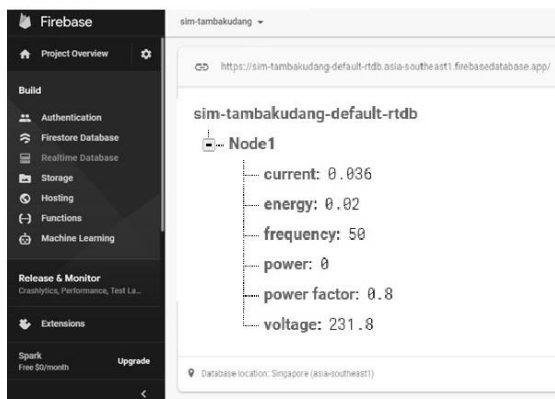
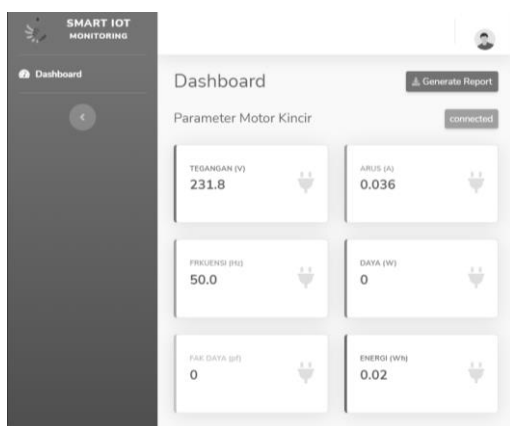
Pasokan listrik untuk kincir aerasi yang *existing* dan yang baru dapat dilihat pada Tabel 4. Semua kincir air beroperasi pada frekuensi yang sama dan tegangan terukur yang hampir sama. Sebelum dipasang di kolam tambak, kedua kincir baru diukur untuk mengetahui besarnya daya dan arus pada kondisi tanpa beban. Kincir aerasi yang ada sudah lama terpasang, sehingga daya dan arus pada kondisi tanpa beban tidak dapat diketahui. Perbedaan antara kedua kincir aerasi baru tidak terlalu banyak, karena pada dasarnya kedua kincir aerasi tersebut identik dengan nilai rasio gigi 1:35 dan putaran motor yang dihasilkan mendekati 109 *RPM*. Hasil yang berbeda bisa jadi sebagai

efek dari kemungkinan kesalahan pengukuran selama pengambilan sampel data berdasarkan hasil pengukuran terhadap kecepatan motor kincir aerasi dengan akurasi pengukuran rata-rata sebesar 0,23%.

Performa kincir aerasi ditunjukkan pada Tabel 5. Semua kincir aerasi baru berkinerja lebih baik daripada kincir aerasi yang lama. Area yang dapat dijangkau dan kedalaman jangkauan kincir yang baru, juga lebih baik, sehingga dapat meningkatkan transfer oksigen dan air, sisa makanan dan pengumpulan kotoran akan lebih mudah untuk dilakukan. Oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh ketinggian cipratan air, serta jarak yang bisa dicapai air dalam arah vertikal.

Tabel 5. Performa Kincir Aerasi

No	Parameter	Unit	Kincir	Kincir	Kincir
			Aerasi 1	Aerasi 2	Air existing
1	Ketinggian dari permukaan air	cm	12	11	5
2	Luas area	m ²	52.2	51.52	43.2
3	Jangkauan	m	9	9.2	9
4	Kedalaman	cm	90-100	90-100	72
5	Kecepatan aliran air				
	- pada jarak 1 m	mm/s	0.92	0.81	1.09
	- pada jarak 10 m	mm/s	0.21	0.29	0.15
6	Tinggi air	m	1.1	1.1	0.72

Gambar 6. Struktur Data Hasil Monitoring Motor Kincir pada *Firebase Realtime Database*

Gambar 7. Tampilan Website Hasil Monitoring Kinerja Motor Kincir

Data hasil monitoring ditampilkan dalam bentuk *website* agar memudahkan bagi pengguna untuk mengakses data monitoring tanpa perlu melakukan instalasi aplikasi terlebih dahulu. Diharapkan tampilan *website* lebih fleksibel untuk dioperasikan sesuai kebutuhan, serta dapat diakses dari perangkat apapun. Perancangan basis data yang menampung data hasil *monitoring* dari performa motor kincir dilakukan pada *Firebase Realtime Database*, yang dapat ditunjukkan pada Gambar 6. Sedangkan tampilan *website* yang digunakan untuk menampilkan data hasil *monitoring* parameter listrik dari motor kincir, dapat ditunjukkan pada Gambar 7.

4. Kesimpulan

Dua buah kincir aerasi yang dibuat telah berhasil dipasang di kolam milik Kementerian Kelautan dan Perikanan di fasilitas Pasuruan. Berdasarkan pengamatan dan kesaksian pengguna, kincir yang baru dipasang cukup bagus, suara motor halus, jangkauan aliran lebih panjang, cakupan area lebih luas dibandingkan kincir air *existing*. Pengujian awal berdasarkan SNI 8679-1:2018 telah selesai, pengukuran menunjukkan bahwa DO dan saturasi oksigen kincir air baru lebih baik daripada kincir air yang ada. Tinggi cipratan air pada kincir aerasi baru juga lebih tinggi dari yang telah ada. Saat ini, kincir aerasi masih beroperasi di kolam untuk menguji ketahanan kincir.

Alat sistem monitoring pada tambak udang dapat berfungsi dengan baik saat dilakukan realisasi di lapangan. Data yang terbaca pada panel box di lapangan dan website memiliki persentase *error* di bawah 0,5% untuk semua parameter yang diukur. Hal ini membuktikan bahwa data pembacaan panel box di lapangan tersinkronisasi dengan baik dengan database website. Hasil perbandingan antara motor kincir 3 fasa dan 1 fasa menunjukkan hasil bahwa kecepatan putar pada motor kincir 3 fasa lebih tinggi dibandingkan dengan motor kincir 1 fasa dengan konsumsi arus dan daya yang lebih rendah.

Langkah berikutnya perlu dilakukan lebih banyak penelitian yang mengintegrasikan sistem akuakultur cerdas. Penerapan teknologi cerdas untuk memastikan kualitas air tambak dengan sistem pengawasan dan pemantauan akan meningkatkan produksi. Disarankan untuk menilai variasi desain dan material untuk mencapai parameter kincir aerasi yang optimal. Penyelidikan lebih lanjut dan percobaan yang berfokus pada bagian dari kincir aerasi diperlukan. Komponen bagian pada kincir aerasi seperti motor, pelampung, frame, gearbox, roda kincir dan kopleng akan bermanfaat untuk studi lebih lanjut. Kontribusi di sektor perikanan budidaya akan mendukung daya saing industri Indonesia dan meningkatkan nilai tambah sektor manufaktur.

Ucapan Terimakasih

Proyek ini didukung oleh pendanaan DIPA dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang diselenggarakan oleh Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman & Investasi bekerjasama dengan PT Boma Bisma Indra dan PT Om Hwahaha (Futata).

Daftar Pustaka

- [1] Nhuong T, Rodriguez P, Chan C, Phillips M, Mohan C, Henriksson P, Koeshendrajana S Suri, S, Hall S "Indonesian aquaculture futures: An analysis of fish supply and demand in Indonesia to 2030 and role of aquaculture using the AsiaFish model", *Marine Policy*, vol. 79, pp. 25–32, 2017.
- [2] World Resources Institute Coastal and Marine Ecosystems - "Marine Jurisdictions: Coastline length", 2012.
- [3] Leung P, Carole R "Shrimp Culture: Economics, Market, and Trade" Wiley-Blackwell, pp. 5, 2006.
- [4] Kooiman J "Fish for Life: Interactive Governance for Fisheries" Amsterdam University Press, pp. 94, 2005.
- [5] Gunarto & Hendrajat, E.A. "Budidaya Udang Vannamei, *Litopenaus Vannamei* pada pola semi-intensif dengan aplikasi beberapa jenis probiotik komersial" *J. Ris Akuakultur*, vol. 3, no. 3, pp. 339-349, 2008
- [6] Fast A, "Penaeid Growout Systems: An Overview", *Marine Shrimp Culture* Amsterdam Elsevier, pp. 345-353, 1992.
- [7] Nguyen NT, Matsuhashi R, "A Design on Sustainable Hybrid Energy Systems by Multi-objective Optimization for Aquaculture Industry" *Renewable Energy* (2020),
- [8] Boyd C, "Pond water aeration systems", *Aquacultural Engineering*, Vol. 18, no. 1, pp. 9-40, 1998.
- [9] Moore J, and Boyd C, "Design of small paddlewheel aerators" *Aquacultural Engineering* , vol. 11, no. 1, pp. 55-69, 1992.
- [10] Felix, S. "Advances in Shrimp Aquaculture Management. New Delhi: Daya Publishing House, 2013.
- [11] Al Barqi, U., Gede Saindra Santyadiputra, & I Gede Mahendra Darmawiguna. "Sistem Monitoring Online Pada Budidaya Udang Menggunakan Wireless Sensor Network dan Internet Of Things". *Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika (KARMAPATI)*, pp. 476-487, 2019
- [12] Cesar R, Nicolás R, A.J.D. Vargas-Bolívar, W.T. Sächica-Tenjo, V. R. Barrales-Guadarrama, M. E. Mendoza-Oliveros, "Oxygen Transfer in Anoxic Water using a Dispositive of Paddle Wheel Aerators at Low Revolutions" *Revista Ion*, vol. 34, no. 2, pp. 43-52, 2021
- [13] Boyd C, Torrains E, and Tucker C "Dissolved oxygen and aeration in ictalurid catfish aquaculture" *Journal of the World Aquaculture Society* vol. 49 no. 1 pp.7-70, 2018
- [14] Romaine RP, Merry GE. "Effect of paddle wheel aeration on water quality in crawfish pond". *Appl Aquac* vol. 19, no. 3, pp. 61-75, 2007
- [15] Boyd C, Darryl E, Chamberlain G "Global Aquaculture Aerated pond management in Operating Procedures for Shrimp Farming: Global Shrimp OP Survey Results and Recommendations", 1st ed. St. Louis, MO, USA: *Global Aquaculture Alliance*, pp. 68-75, 2006
- [16] Abdul W, Heri A, Mohammad M, Mohamad F, "Tingkat Transfer Oksigen Kincir Air Selama Periode Blind Feeding Budidaya Intensif Udang Putih (*Litopenaus vannamei*)" *Journal of Fisheries and Marine Research* Vol 4 No 1 pp.7-15, 2020
- [17] Wyban JA, Pruder GD, Leber KM. "Paddle wheel effect on shrimp growth, production and crop value in commercial earthen ponds". *J World Aquac Soc* vo. 20, pp.18-23, 1989.
- [18] Supono. "Teknologi Produksi Udang" Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2017
- [19] Tomoaki I, Taishi I, Choji N, Ren H, Naohiro N, Jinsuke H, Syuta H, " Water circulation induced by mechanical aerators in a rectangular vessel for shrimp aquaculture" *Aquacultural Engineering*, 2018
- [20] Zhu D, Cheng X, Sample D, and Yazdi M "Effect of intermittent aeration mode on nitrogen concentration in the water column and sediment pore water of aquaculture ponds" *Journal of Environmental Sciences* vol. 90, pp. 331-342, 2020
- [21] Hoagland R, Rouse D, Teichert-Coddington, and Boyd C "Evaluation of automated aeration control in shrimp ponds" *Journal of Applied Aquaculture* vol.11 no.3 pp.45-55, 2001
- [22] Cruz F, Mahmudov K, Marouchos A, and Bilton A "A Feasibility Study on the Benefits of Feedback Aerator Control in Precision Aquaculture Applications for the Developing World" *American Society of Mechanical Engineers*, p. V02BT03A004, 2019
- [23] Deng H, Peng L, Zhang J, Tang C, Fang H, and Liu H "An intelligent aerator algorithm inspired by deep learning" *Mathematical biosciences and engineering* vol. 16, no.4 pp.2990-3002, 2019
- [24] SNI 8679-1:2018, Petunjuk teknis skema sertifikasi SNI produk kincir air, Sarana kincir pada budidaya ikan – Bagian 1: Kincir 1 phase, 2018
- [25] Muliadi, Al Imran, & Muh. Rasul. "Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan ESP32". *Jurnal Media Elektrik*, pp. 74-79, 2020