Kaunia : Integration and Interconnection of Islam and Science Journal
Vol. 22, No.2, Oktober 2026, pp. 77-88
ISSN 1829-5266 (paper), E-ISSN 2962-2085 (online)
Available online at http://ejournal.uin-suka.ac.id/saintek/kaunia

Rancangan Sistem Akuaponik Berbasis Energi Surya sebagai Lingkungan Pembelajaran Praktikum dan Kewirausahaan di Pendidikan Vokasi

Muchammad Abrori[1*]
[1] *Department of Mathematics, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga*
Anti Damayanti[2]
[2] *Department of Biology, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga*
*Corresponding author: * muchammad.abrori@uin-suka.ac.id*

Submitted: 27th February 2026 ; **Accepted**: 31st October 2026; **Published**: 25 November 2026

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menguraikan rancangan sistem akuaponik berbasis energi sel surya sebagai konteks pembelajaran praktikum dan kewirausahaan di SMK Nurul Iman Sewon, Bantul. Rancangan sistem mengintegrasikan panel surya sebagai sumber energi listrik dengan instalasi akuaponik untuk mendukung kegiatan budidaya ikan dan tanaman secara terpadu. Penelitian menggunakan metode analisis desain dan konseptualisasi pedagogis. Tahap analisis desain mencakup identifikasi komponen dan fungsi sistem, analisis keterkaitan antarkomponen, dan identifikasi kebutuhan dan keterbatasan rancangan. Sementara itu konseptualisasi pedagogis mencakup dilakukan dengan menghubungkan komponen dan proses dalam sistem akuaponik berbasis energi surya dengan tujuan pembelajaran, aktivitas peserta didik, dan bentuk bukti belajar yang dapat dinilai. Hasil kajian menunjukkan bahwa sistem akuaponik berbasis energi surya berpotensi menjadi konteks pembelajaran praktikum Biologi, khususnya untuk mempelajari interaksi ikan, tanaman, mikroorganisme, kualitas air, dan pemanfaatan energi terbarukan. Sistem ini juga dapat dimanfaatkan untuk memperkenalkan proses produksi, pengelolaan hasil budidaya, perhitungan biaya, dan pemasaran sebagai bagian dari pembelajaran kewirausahaan. Data efisiensi energi dan potensi produksi yang disajikan dalam tabel merupakan data simulasi berdasarkan literatur, bukan hasil pengukuran empiris di lokasi penelitian. Oleh karena itu, efektivitas pembelajaran, kinerja energi, produktivitas budidaya, dan manfaat ekonomi sistem masih memerlukan pengujian secara langsung.

Kata Kunci: Akuaponik; Energi Surya; Pendidikan Biologi; Pembelajaran Praktikum; Kewirausahaan.

Abstract

This research develops a practical, entrepreneurship-oriented learning model by integrating solar power systems, hydroponics, and aquaponics. The objective is to create a vocational learning environment that is contextual, environmentally friendly, and supportive of a school's economic self-reliance. The methodology employs applied engineering and development, encompassing energy management, power consumption audits, integrated system design, on-site implementation, and participatory monitoring and evaluation involving both teachers and students. The findings indicate that this integrated system serves as an effective cross-disciplinary practical learning tool, bridging the fields of electronics, renewable energy technology, and school-based agribusiness. Furthermore, the system provides a platform for entrepreneurship education by facilitating the processing of agricultural produce for the local market. This article presents a technical description of the planning process, the implementation stages within a vocational high school (SMK) setting, pedagogical reflections, and recommendations for sustainable development.

Keywords:Aquaponics; Solar Energy; Biology Education; Practical Learning; Entrepreneurship.

© 2026 Kaunia

PENDAHULUAN

Pembelajaran Biologi tidak hanya menekankan penguasaan konsep secara teoretis, tetapi juga memerlukan pengalaman praktikum yang memungkinkan peserta didik mengamati dan memahami fenomena biologis secara langsung. Pembelajaran kontekstual melalui pemanfaatan teknologi budidaya dapat memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menghubungkan konsep biologi dengan permasalahan lingkungan dan kehidupan sehari-hari. Melalui pendekatan pembelajaran berbasis proyek dan keterlibatan aktif siswa, kemampuan analisis dan inovasi siswa juga akan meningkat.

Salah satu teknologi yang berpotensi dimanfaatkan dalam kegiatan pembelajaran tersebut adalah akuaponik. Akuaponik merupakan sistem produksi terpadu yang menggabungkan kegiatan akuakultur dan hidroponik melalui siklus resirkulasi air secara tertutup. Sistem akuaponik dapat memecahkan berbagai permasalahan spesifik yang sering muncul baik dalam budidaya hidroponik maupun akuakultur konvensional. Hidroponik, yaitu sistem budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah sebagai media tumbuh, memberikan peluang untuk memanfaatkan ruang terbatas dalam kegiatan produksi tanaman (Fussy & Papenbrock, 2022). Namun sistem hidroponik memerlukan pengelolaan larutan nutrisi yang baik serta efisiensi penggunaan air dan unsur hara yang tinggi (Fathidarehnijeh et al., 2023). Di sisi lain dalam akuakultur, sisa pakan dan ekskresi ikan menghasilkan amonia tinggi yang beracun bagi ikan sehingga air harus sering diganti dan menyebabkan terjadinya pembuangan limbah kaya nutrisi ke lingkungan. Integrasi antara sistem hidroponik dan akuakultur menjadikan sisa metabolisme ikan menjadi sumber bahan organik dan nitrogen yang selanjutnya mengalami proses penguraian dan nitrifikasi oleh mikroorganisme. Proses tersebut menghasilkan senyawa nitrogen, terutama nitrat, yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman sebagai unsur hara. Tanaman dan komponen filtrasi kemudian membantu menyerap sebagian nutrien terlarut sebelum air dialirkan kembali ke kolam ikan. Menurut (Okomoda et al., 2023), akuaponik merupakan sistem produksi terpadu yang memiliki peluang pengembangan dalam kegiatan produksi pangan, meskipun penerapannya juga menghadapi tantangan teknis dan pengelolaan. Pengendalian kualitas air menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga keberlangsungan sistem akuaponik (Chandramenon et al., 2024).

Hubungan antara ikan, tanaman, mikroorganisme, air, dan lingkungan dalam sistem akuaponik menyediakan konteks pembelajaran Biologi untuk mempelajari daur nitrogen, interaksi antarmakhluk hidup, aktivitas mikroorganisme, serta keseimbangan ekosistem. Pemanfaatan akuaponik dalam pendidikan telah dikaji melalui berbagai pendekatan pembelajaran. (Baykır et al., 2023) membahas penggunaan sistem akuaponik sebagai sarana pendidikan dan mengkaji keterkaitannya dengan hasil belajar siswa serta pandangan guru. Penelitian (Thompson et al., 2023) berfokus pada penerapan kurikulum berbasis proyek akuaponik untuk membantu siswa sekolah menengah memahami konsep ekosistem, termasuk hubungan ekologis dan proses yang berlangsung dalam lingkungan perairan. Sementara itu, (Kluczkovski et al., 2024) mengkaji pemanfaatan akuaponik di sekolah sebagai sarana pembelajaran langsung mengenai pangan sehat dan keberlanjutan lingkungan. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa akuaponik dapat dimanfaatkan sebagai konteks pembelajaran yang menghubungkan konsep ilmiah dengan kegiatan produksi pangan dan pengelolaan lingkungan. Meskipun demikian, masing-masing penelitian memiliki penekanan yang berbeda, yaitu hasil belajar dan pandangan guru, pemahaman konsep ekosistem, serta pendidikan pangan dan keberlanjutan. Hal ini memberikan dasar untuk mengkaji pemanfaatan sistem akuaponik dalam konteks pembelajaran yang juga mengintegrasikan teknologi energi terbarukan dan pengenalan kewirausahaan.

Pengoperasian sistem akuaponik memerlukan energi listrik untuk mendukung berbagai komponen, terutama pompa sirkulasi air dan aerator. Ketersediaan energi listrik menjadi bagian penting karena gangguan pada sirkulasi dan aerasi dapat memengaruhi kondisi lingkungan hidup ikan serta keberlangsungan proses budidaya. Salah satu alternatif sumber energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi surya melalui teknologi fotovoltaik. Panel surya mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik sesuai kapasitas sistem. Apabila dilengkapi dengan perangkat pengatur dan penyimpanan energi, sistem tersebut dapat dirancang untuk mendukung kebutuhan operasional ketika intensitas cahaya matahari berubah. Integrasi energi surya dengan akuaponik juga memiliki nilai edukatif karena memungkinkan peserta didik mempelajari konversi energi, pemanfaatan energi terbarukan, serta keterkaitan antara kebutuhan energi dan keberlangsungan suatu sistem biologis. Namun, kinerja dan efisiensi penerapannya bergantung pada kapasitas panel, intensitas radiasi matahari, kapasitas baterai, karakteristik beban listrik, dan pola penggunaan energi. Oleh karena itu, pemanfaatan energi surya dalam sistem akuaponik perlu dipahami sebagai penerapan teknologi yang memerlukan perancangan dan evaluasi teknis sesuai kondisi penggunaannya.

Selain memberikan konteks pembelajaran praktikum Biologi, sistem akuaponik juga dapat dimanfaatkan untuk memperkenalkan prinsip kewirausahaan kepada peserta didik. Hasil budidaya berupa sayuran dan ikan dapat menjadi objek pembelajaran mengenai proses produksi, pengelolaan hasil panen, pengemasan, perhitungan biaya, penentuan harga jual, dan pemasaran. Kegiatan tersebut memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk memahami hubungan antara proses produksi, pemanfaatan sumber daya, dan nilai ekonomi suatu produk. Dalam konteks pendidikan di SMK, integrasi kegiatan praktikum dengan pengenalan kewirausahaan dapat memperluas pengalaman belajar karena peserta didik tidak hanya mempelajari proses biologis dan teknis budidaya, tetapi juga mengenal aspek pengelolaan usaha produktif. Meskipun demikian, potensi ekonomi hasil budidaya perlu dibedakan dari keuntungan usaha yang telah terealisasi. Penilaian kelayakan ekonomi memerlukan informasi empiris mengenai biaya investasi, biaya operasional, jumlah produksi, harga jual, dan keberlanjutan pemasaran.

Berdasarkan penelitian terdahulu, pemanfaatan akuaponik dalam pendidikan telah memberikan perhatian pada pembelajaran konsep ekosistem, hasil belajar, pendidikan pangan, dan kesadaran lingkungan (Baykır et al., 2023; Thompson et al., 2023; Kluczkovski et al., 2024). Di sisi lain, kajian mengenai sistem akuaponik juga membahas aspek produksi dan pengelolaan teknis, termasuk kualitas air dan tantangan penerapannya (Okomoda et al., 2023; Chandramenon et al., 2024). Berdasarkan fokus penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat ruang untuk mengkaji rancangan sistem yang mengintegrasikan akuaponik, pemanfaatan energi surya, pembelajaran praktikum Biologi, dan pengenalan kewirausahaan dalam satu konteks pendidikan di SMK. Penelitian ini tidak diarahkan untuk mengklaim penemuan teknologi akuaponik atau model pedagogis baru, tetapi menempatkan integrasi sistem tersebut sebagai inovasi implementatif yang menghubungkan pembelajaran Biologi dengan penerapan energi terbarukan dan kegiatan produksi. Selain itu, kajian ini diarahkan juga untuk memanfaatkan sistem akuaponik berbasis energi sel surya sebagai konteks pembelajaran terpadu, sehingga peserta didik dapat mengenali hubungan antara proses biologis, kebutuhan energi, pengelolaan budidaya, dan potensi nilai ekonomi hasil produksi. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menguraikan rancangan sistem akuaponik berbasis energi surya dan mengonseptualisasikan pemanfaatannya sebagai konteks pembelajaran praktikum Biologi serta pengenalan kewirausahaan di pendidikan vokasi. Secara khusus, kajian ini mencakup identifikasi komponen dan hubungan fungsional sistem, pemetaan konsep dan aktivitas pembelajaran, serta identifikasi kebutuhan teknis dan pedagogis yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan lebih lanjut.

Metodologi Penelitian

Desain Kajian

Artikel ini menggunakan pendekatan analisis desain dan konseptualisasi pedagogis untuk menguraikan potensi pemanfaatan sistem akuaponik berbasis energi surya sebagai konteks pembelajaran praktikum dan kewirausahaan di pendidikan vokasi. Pendekatan ini berfokus pada analisis keterkaitan antara komponen teknis sistem, konsep keilmuan yang dapat dipelajari, aktivitas pembelajaran yang dapat dirancang, dan kompetensi yang ditargetkan.

Analisis desain dilakukan dengan mengidentifikasi komponen utama sistem, meliputi panel surya, perangkat pengendali dan penyimpanan energi, pompa sirkulasi, aerator, kolam ikan, unit penyaringan, instalasi tanaman, dan saluran sirkulasi air. Setiap komponen ditelaah berdasarkan fungsi teknisnya dan keterkaitannya dengan kebutuhan operasional sistem akuaponik. Spesifikasi teknis yang dibahas mengacu pada dokumentasi rancangan yang tersedia.

Konseptualisasi pedagogis dilakukan dengan memetakan komponen dan proses dalam sistem terhadap konsep pembelajaran Biologi, energi terbarukan, pengelolaan lingkungan, dan kewirausahaan. Pemetaan ini digunakan untuk merumuskan contoh aktivitas praktikum, bentuk tugas pembelajaran, serta indikator kompetensi yang berpotensi dikembangkan melalui pemanfaatan sistem. Hasil pemetaan merupakan rancangan pembelajaran yang diusulkan.

Tahapan Analisis Desain

Analisis desain dilakukan melalui tiga tahapan. Pertama, identifikasi komponen dan fungsi sistem dilakukan untuk menggambarkan hubungan antara sumber energi, perangkat listrik, sirkulasi air, kolam ikan, penyaringan, dan unit tanaman. Pada tahap ini, konfigurasi sistem ditelaah untuk menjelaskan aliran energi dan aliran air berdasarkan dokumentasi rancangan yang tersedia.

Kedua, analisis keterkaitan antarkomponen dilakukan dengan mengidentifikasi hubungan antara kebutuhan energi untuk pompa dan aerator dengan proses sirkulasi air serta pemeliharaan organisme budidaya. Analisis juga mencakup hubungan antara ikan, mikroorganisme, unsur hara, tanaman, dan kualitas air sebagai dasar untuk menjelaskan konsep biologis yang dapat diamati atau dipelajari melalui sistem. Analisis ini menjelaskan hubungan fungsional berdasarkan rancangan dan prinsip ilmiah yang relevan.

Ketiga, identifikasi kebutuhan dan keterbatasan rancangan dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan operasional, pemeliharaan komponen, pemantauan kualitas air, keselamatan penggunaan perangkat listrik di sekitar air, dan kebutuhan evaluasi teknis. Aspek-aspek tersebut digunakan untuk menjelaskan kondisi yang perlu diperhatikan apabila rancangan dikembangkan atau diterapkan sebagai sarana pembelajaran di sekolah.

Konseptualisasi Pedagogis

Konseptualisasi pedagogis dilakukan dengan menghubungkan komponen dan proses dalam sistem akuaponik berbasis energi surya dengan tujuan pembelajaran, aktivitas peserta didik, dan bentuk bukti belajar yang dapat dinilai. Pemetaan disusun berdasarkan empat aspek, yaitu pembelajaran praktikum Biologi, pengenalan energi terbarukan, pengelolaan lingkungan, dan kewirausahaan.

Pada aspek Biologi, aktivitas pembelajaran dirancang untuk membahas pertumbuhan tanaman, interaksi ikan dan tanaman, peran mikroorganisme dalam transformasi senyawa nitrogen, serta pengaruh parameter lingkungan terhadap organisme budidaya. Aktivitas yang dapat diusulkan meliputi pengamatan, pengukuran parameter yang relevan, pencatatan hasil, interpretasi data, dan penyusunan laporan praktikum.

Pada aspek energi terbarukan, sistem digunakan sebagai konteks untuk mempelajari konversi energi surya menjadi energi listrik dan hubungan antara kebutuhan energi perangkat dengan lama operasionalnya. Aktivitas pembelajaran dapat mencakup identifikasi daya perangkat, perhitungan kebutuhan energi berdasarkan spesifikasi, serta analisis skenario kecukupan energi. Perhitungan tersebut diperlakukan sebagai latihan atau simulasi apabila tidak didasarkan pada pengukuran langsung.

Pada aspek kewirausahaan, hasil budidaya digunakan sebagai konteks untuk merancang aktivitas perencanaan produksi, pencatatan biaya, penentuan harga jual, dan analisis skenario usaha. Aktivitas ini dimaksudkan untuk memperkenalkan prinsip dasar pengelolaan usaha. Simulasi biaya dan pendapatan tidak diperlakukan sebagai bukti keuntungan aktual sistem.

Hasil konseptualisasi pedagogis disajikan dalam bentuk pemetaan komponen sistem, konsep pembelajaran, aktivitas yang diusulkan, kompetensi yang ditargetkan, dan bentuk bukti belajar yang dapat digunakan dalam evaluasi. Pemetaan tersebut merupakan rancangan awal yang masih memerlukan penelaahan atau validasi lebih lanjut sebelum digunakan sebagai perangkat pembelajaran yang telah dinyatakan layak.

Sintesis Hasil dan Batas Interpretasi

Hasil analisis desain dan konseptualisasi pedagogis disintesis secara deskriptif dengan menghubungkan fungsi teknis komponen, prinsip ilmiah yang relevan, dan peluang penerapannya dalam pembelajaran. Sintesis dilakukan untuk mengidentifikasi kontribusi rancangan dalam menyediakan konteks pembelajaran yang menghubungkan Biologi, energi terbarukan, pengelolaan lingkungan, dan pengenalan kewirausahaan.

Interpretasi hasil dibatasi pada keluaran analisis desain dan rumusan konseptual pembelajaran. Kajian ini tidak digunakan untuk menyimpulkan efektivitas pembelajaran, peningkatan kompetensi peserta didik, efisiensi energi aktual, produktivitas budidaya, atau kelayakan ekonomi tanpa dukungan data dan prosedur evaluasi yang sesuai. Pengujian teknis, penelaahan rancangan pembelajaran, dan evaluasi empiris diperlukan dalam kajian lanjutan untuk menilai penerapan sistem secara nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi dan Spesifikasi Sistem

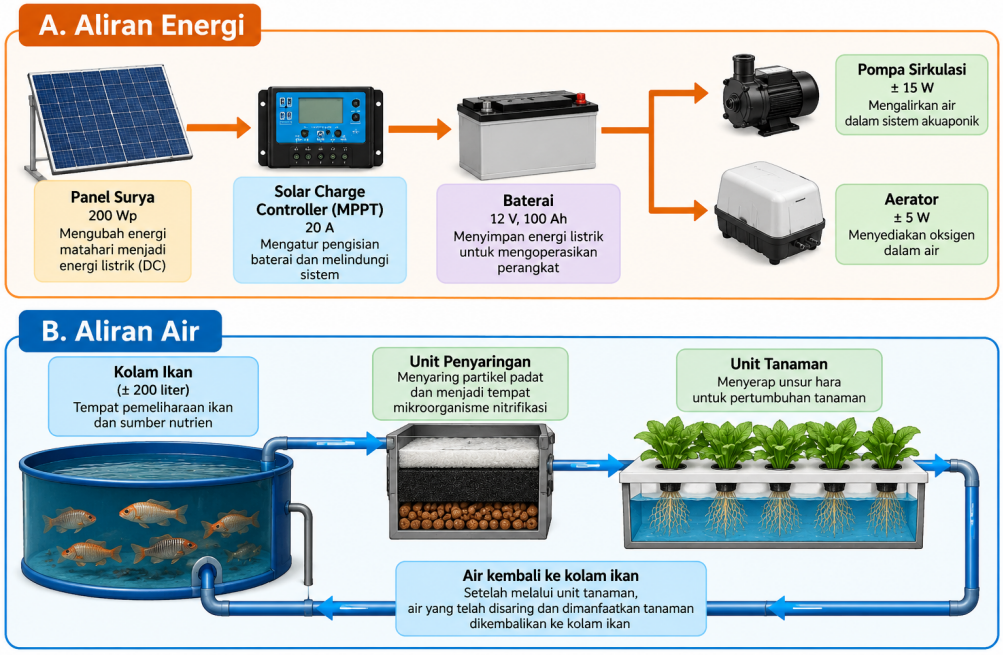
Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan panel surya, perangkat penyimpanan energi, pompa sirkulasi, aerator, instalasi hidroponik, dan kolam ikan. Panel surya berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang digunakan untuk mendukung kebutuhan operasional sistem. Energi listrik yang

dihasilkan dan disimpan dimanfaatkan untuk mengoperasikan perangkat pendukung sirkulasi air dan aerasi sesuai

Tabel 1: Identifikasi komponen utama, fungsi teknis, dan keterkaitannya dalam sistem

Komponen	**Fungsi dalam rancangan**	**Aspek yang dianalisis**
Panel surya 200 Wp	Sumber energi listrik dari matahari	Konversi energi dan potensi pembangkitan listrik
Baterai 12 V, 100 Ah	Penyimpanan energi listrik	Kapasitas penyimpanan dan kebutuhan energi beban
Solar charge controller MPPT 20 A	Pengaturan pengisian baterai	Kesesuaian pengendali dengan konfigurasi panel dan baterai
Pompa 15 W	Mengalirkan air dalam sistem	Kebutuhan energi dan kontinuitas sirkulasi
Aerator 5 W	Mendukung penyediaan oksigen dalam air	Kebutuhan energi dan pemeliharaan organisme
Kolam ikan 200 liter	Wadah pemeliharaan ikan	Volume air dan pengelolaan kualitas air
Unit tanaman dengan 6–8 lubang tanam	Tempat pertumbuhan tanaman	Pengamatan pertumbuhan dan pemanfaatan unsur hara
Penyaringan dan pipa PVC	Mendukung aliran serta pengelolaan air	Urutan aliran dan keterhubungan unit budidaya

Spesifikasi teknis sistem skala kecil (Tabel 1) meliputi panel surya dengan kapasitas 200 Wp sebagai sumber energi listrik, baterai penyimpanan berkapasitas 12 V 100 Ah, serta pengendali pengisian daya (*solar charge controller*) tipe MPPT dengan kapasitas 20 A. Energi listrik digunakan untuk mengoperasikan pompa sirkulasi berdaya sekitar 15 W dengan kapasitas aliran 800–1.000 liter/jam dan aerator berdaya sekitar 5 W. Instalasi budidaya terdiri atas satu kolam ikan berkapasitas sekitar 200 liter, satu unit instalasi hidroponik sederhana dengan 6–8 lubang tanam, serta saluran sirkulasi air berbahan pipa PVC. Aliran air dirancang dari kolam ikan menuju unit penyaringan, kemudian dialirkan ke instalasi hidroponik dan dikembalikan ke kolam ikan. Konfigurasi tersebut dirancang untuk skala demonstrasi dan praktikum di sekolah, sehingga peserta didik dapat mengamati hubungan antara pemanfaatan energi surya, sirkulasi air, kualitas air, pemeliharaan ikan, dan pertumbuhan tanaman (Gambar 1).



Gambar 1: Skema konseptual dua aliran utama (aliran energi dan aliran air) dalam sistem akuaponik berbasis tenaga surya.

Analisis kuantitatif digunakan untuk menggambarkan kondisi teknis sistem, kegiatan budidaya, serta aspek ekonomi. Data kelistrikan dianalisis berdasarkan hasil pengukuran tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Apabila tegangan dan arus diukur pada waktu yang sama, daya listrik dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V \times I \tag{1}$$

dengan P merupakan daya listrik (W), V merupakan tegangan (V), dan I merupakan arus listrik (A). Energi listrik dihitung berdasarkan daya dan lama penggunaan perangkat:

$$E = P \times t \tag{2}$$

dengan E merupakan energi listrik (Wh), P merupakan daya listrik (W), dan t merupakan waktu penggunaan (jam). Perhitungan penghematan energi hanya dilakukan apabila tersedia data konsumsi energi dari sumber pembanding atau kondisi sebelum penerapan sistem.

Kebutuhan energi perangkat harus dibandingkan dengan energi yang dapat dihasilkan dan disimpan oleh sistem, meskipun kecukupan energi belum dapat disimpulkan hanya dari spesifikasi komponen. Sementara itu, hubungan fungsional antara ikan, mikroorganisme, unsur hara, tanaman, dan kualitas air dapat dijadikan dasar untuk merancang aktivitas pembelajaran Biologi.

Beberapa aspek teknis yang perlu diperhatikan dalam pengembangan rancangan meliputi kecukupan energi untuk memenuhi kebutuhan beban, kontinuitas sirkulasi dan aerasi, pemantauan kualitas air, keselamatan instalasi listrik, serta kebutuhan pemeliharaan komponen (Tabel 2). Aspek-aspek tersebut memerlukan hasil pengujian kinerja sistem sebelum diimplementasikan di sekolah.

Tabel 2: Berbagai aspek yang perlu dipertimbangkan sebelum sistem digunakan sebagai sarana pembelajaran.

Aspek	**Hasil analisis yang dapat dilaporkan**	**Hal yang belum dapat dipastikan**
Kebutuhan energi	Pompa dan aerator merupakan beban listrik utama yang perlu diperhitungkan.	Kecukupan energi harian dan lama operasi aktual.
Penyimpanan energi	Kapasitas baterai menjadi salah satu faktor dalam kontinuitas suplai listrik.	Lama cadangan energi tanpa pengisian surya.
Sirkulasi air	Pompa dan jalur aliran menjadi bagian penting dari rancangan akuaponik.	Kestabilan aliran dan kinerja sistem aktual.
Kualitas air	Parameter kualitas air perlu dipantau untuk mendukung pemeliharaan ikan dan tanaman.	Kondisi kualitas air aktual tanpa hasil pengukuran.
Keselamatan	Penempatan dan perlindungan komponen listrik di dekat air perlu diperhatikan.	Tingkat keamanan instalasi tanpa pemeriksaan teknis.
Pemeliharaan	Rancangan perlu mempertimbangkan perawatan pompa, aerator, filter, dan unit budidaya.	Keandalan dan biaya pemeliharaan aktual.

Kinerja aktual sistem belum dapat disimpulkan hanya berdasarkan konfigurasi dan proses pemasangannya. Penilaian mengenai daya ke Kinerja aktual sistem belum dapat disimpulkan hanya berdasarkan konfigurasi dan proses pemasangannya. Penilaian mengenai daya keluaran panel, kecukupan energi, efisiensi sistem, lama operasi, dan penghematan listrik memerlukan data pengukuran langsung. Oleh karena itu, pembahasan pada bagian ini dibatasi pada integrasi komponen dan pemanfaatannya sebagai konteks

pembelajaran, sedangkan evaluasi kuantitatif kinerja energi memerlukan pengukuran operasional yang terdokumentasi.

Integrasi Sistem Akuaponik dan Energi Surya sebagai Konteks Pembelajaran Praktikum dan Kewirausahaan

Pemanfaatan sistem akuaponik berbasis energi surya juga dapat menjadi konteks pengenalan pendidikan lingkungan dan tanggung jawab terhadap makhluk hidup. Kegiatan pemeliharaan ikan dan tanaman akan memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk memahami pentingnya pemantauan kondisi lingkungan, keteraturan perawatan, dan penggunaan sumber daya secara bijak. Aspek-aspek tersebut dapat diintegrasikan ke dalam pembelajaran mengenai keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan lingkungan.

Aktivitas merawat ikan dan tanaman dapat menjadi sarana untuk melatih tanggung jawab, ketelitian, dan kerja sama. Akan tetapi, kesimpulan mengenai peningkatan sikap atau karakter memerlukan indikator penilaian dan data hasil observasi yang dianalisis secara sistematis. Dengan demikian, sistem ini lebih tepat diposisikan sebagai sarana yang menyediakan pengalaman belajar untuk mengenalkan nilai tanggung jawab dan kepedulian lingkungan.

Tabel 3: Pemetaan Komponen Sistem Akuaponik Berbasis Energi Surya terhadap Aktivitas dan Kompetensi Pembelajaran

Komponen/proses	**Konsep pembelajaran**	**Aktivitas yang diusulkan**	**Kompetensi yang ditargetkan**	**Bukti belajar**
Kolam ikan dan unit tanaman	Interaksi organisme dan ekosistem	Mengidentifikasi hubungan ikan, tanaman, dan lingkungan budidaya	Menjelaskan keterkaitan komponen ekosistem	Diagram hubungan komponen
Filter biologis	Transformasi nitrogen	Menjelaskan proses amonia, nitrit, dan nitrat	Menjelaskan peran mikroorganisme dalam siklus nitrogen	Diagram siklus nitrogen
Panel surya dan perangkat listrik	Konversi energi dan kebutuhan daya	Menghitung kebutuhan energi berdasarkan spesifikasi perangkat	Menghitung dan menafsirkan kebutuhan energi	Lembar perhitungan
Sirkulasi air	Hubungan komponen dan kestabilan sistem	Menganalisis skenario gangguan pompa	Menganalisis masalah teknis sederhana	Laporan analisis kasus
Hasil budidaya	Produksi dan kewirausahaan	Menyusun simulasi biaya, harga jual, dan titik impas	Menyusun rencana usaha sederhana	Lembar kerja rencana usaha

Pemetaan pedagogis pada Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem akuaponik berbasis energi surya berpotensi dimanfaatkan sebagai konteks pembelajaran praktikum yang mengintegrasikan konsep Biologi, energi terbarukan, dan pengelolaan lingkungan. Komponen kolam ikan, unit penyaringan, dan instalasi tanaman dapat digunakan untuk merancang aktivitas pengamatan hubungan antara ikan, tanaman, mikroorganisme, dan kualitas air, termasuk proses transformasi nitrogen dalam sistem akuaponik. Sementara itu, panel surya, baterai, pompa, dan aerator dapat menjadi objek pembelajaran mengenai konversi energi, kebutuhan daya, serta perhitungan kebutuhan energi berdasarkan spesifikasi perangkat. Aktivitas tersebut dapat dirancang untuk melatih keterampilan ilmiah melalui pengamatan, pengukuran, pencatatan, analisis data, dan penyusunan laporan praktikum. Dalam konteks kewirausahaan, hasil budidaya ikan dan tanaman dapat dijadikan dasar untuk mengenalkan perencanaan produksi, pencatatan biaya, penentuan harga jual, dan analisis titik impas melalui simulasi usaha. Dengan demikian, sistem ini menawarkan konteks pembelajaran lintas disiplin yang menghubungkan pemahaman konsep dengan penerapan teknis dan pengenalan aspek ekonomi.

Sistem akuaponik menyediakan konteks pembelajaran praktikum yang menghubungkan konsep Biologi dengan fenomena yang dapat diamati secara langsung. Dalam penerapannya, peserta didik dapat dilibatkan dalam kegiatan pengoperasian sistem, pengamatan sirkulasi air, pemeliharaan ikan dan tanaman, serta

pemantauan kondisi lingkungan budidaya. Kegiatan tersebut memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mempraktikkan keterampilan dasar ilmiah, seperti observasi, pengukuran, pencatatan, dan penyajian hasil pengamatan.

Aspek biologis yang dapat dipelajari meliputi hubungan antara ikan, tanaman, mikroorganisme, dan kualitas air. Pada sistem akuaponik, sisa metabolisme ikan menjadi sumber bahan organik yang melalui proses biologis dapat diubah menjadi senyawa yang dimanfaatkan tanaman. Mikroorganisme berperan dalam proses nitrifikasi, yaitu pengubahan amonia menjadi nitrit dan selanjutnya nitrat. Proses tersebut berkaitan dengan siklus nitrogen dan keseimbangan ekosistem dalam sistem budidaya. Parameter seperti pH dan suhu air juga dapat digunakan sebagai objek pengamatan untuk memahami faktor lingkungan yang memengaruhi organisme.

Dari sisi pembelajaran, kegiatan praktikum berbasis sistem budidaya memberikan pengalaman kontekstual karena konsep tidak hanya dipelajari melalui penjelasan teoretis, tetapi juga melalui pengamatan terhadap objek dan proses nyata. Hal ini sejalan dengan pendekatan pembelajaran Biologi yang menekankan keterkaitan antara konsep, proses ilmiah, dan fenomena lingkungan. Penelitian mengenai pembelajaran berbasis lingkungan dan kegiatan praktikum juga menempatkan pengalaman langsung sebagai salah satu konteks untuk mengembangkan keterampilan ilmiah peserta didik (**??**).

Namun, keterlibatan peserta didik dalam kegiatan praktikum belum dengan sendirinya membuktikan peningkatan keterampilan atau pemahaman. Untuk menyimpulkan adanya peningkatan, diperlukan instrumen penilaian, indikator performa, serta hasil evaluasi yang memungkinkan kemampuan peserta didik dinilai secara sistematis. Oleh sebab itu, kontribusi sistem dalam penelitian ini lebih tepat dipahami sebagai penyedia konteks dan kesempatan belajar praktis, bukan sebagai bukti efektivitas pembelajaran yang telah terukur.

Integrasi energi surya dan instalasi budidaya memberikan konteks untuk mengenalkan hubungan antara energi terbarukan dan keberlangsungan proses biologis. Panel surya berfungsi mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik, sedangkan pompa dan aerator mendukung sirkulasi air serta penyediaan oksigen bagi organisme budidaya. Dengan kata lain, sistem ini menghubungkan konsep konversi energi dengan kebutuhan lingkungan hidup ikan dan pertumbuhan tanaman. Selain itu, penggunaan pompa dan saluran air dapat dikaitkan dengan konsep aliran fluida sederhana. Pengamatan kualitas air juga dapat dihubungkan dengan konsep kimia lingkungan. Dengan demikian, sistem akuaponik berbasis panel surya ini juga membuka peluang pembelajaran lintas disiplin melalui satu sistem yang dapat diamati dan dioperasikan secara langsung.

Dari aspek kewirausahaan, hasil budidaya berupa sayuran dan ikan dapat dimanfaatkan sebagai konteks pembelajaran produksi dan pengelolaan usaha sederhana. Peserta didik dapat diperkenalkan pada tahapan perencanaan produksi, pemeliharaan, pencatatan biaya, pengelolaan hasil panen, penentuan harga jual, dan pemasaran. Kegiatan tersebut memungkinkan peserta didik memahami hubungan antara proses produksi dan nilai ekonomi suatu produk. Meskipun demikian, kegiatan budidaya dan pengenalan perhitungan biaya belum dapat diartikan sebagai bukti terbentuknya kompetensi kewirausahaan. Penilaian kompetensi tersebut memerlukan indikator yang lebih terukur, seperti kemampuan menyusun rencana usaha, menghitung biaya produksi, menentukan harga jual, menganalisis peluang pasar, dan mengevaluasi hasil kegiatan usaha. Oleh karena itu, kontribusi sistem dalam penelitian ini dibatasi pada potensinya sebagai konteks pembelajaran kewirausahaan, bukan sebagai bukti keberhasilan usaha atau peningkatan pendapatan sekolah.

Implikasi terhadap Efisiensi Energi dan Ekonomi Sekolah

Integrasi energi surya dengan sistem hidroponik dan akuaponik memiliki potensi untuk memperkenalkan pemanfaatan energi terbarukan dalam kegiatan budidaya di lingkungan sekolah. Energi listrik yang dihasilkan panel surya dapat diarahkan untuk mendukung kebutuhan perangkat seperti pompa sirkulasi dan aerator. Pemanfaatan tersebut memberikan kesempatan untuk mempelajari hubungan antara kapasitas pembangkitan energi, kebutuhan beban listrik, penyimpanan energi, dan kontinuitas operasional sistem.

Dari perspektif ekonomi, penggunaan energi surya berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap energi listrik dari jaringan eksternal untuk beban yang dapat dipenuhi oleh sistem. Namun, besarnya penghematan belum dapat ditentukan tanpa data konsumsi listrik, energi yang dihasilkan panel, biaya investasi, biaya pemeliharaan, dan penggantian komponen selama masa penggunaan. Analisis kelayakan ekonomi juga perlu mempertimbangkan umur pakai baterai, biaya instalasi, serta biaya operasional budidaya.

Demikian pula, potensi nilai ekonomi hasil budidaya perlu dianalisis berdasarkan jumlah produksi aktual, biaya benih atau bibit, pakan, nutrisi, pemeliharaan, dan harga jual produk. Tanpa pencatatan biaya

dan penerimaan secara lengkap, belum dapat disimpulkan bahwa sistem menghasilkan keuntungan atau memberikan tambahan pendapatan bagi sekolah.

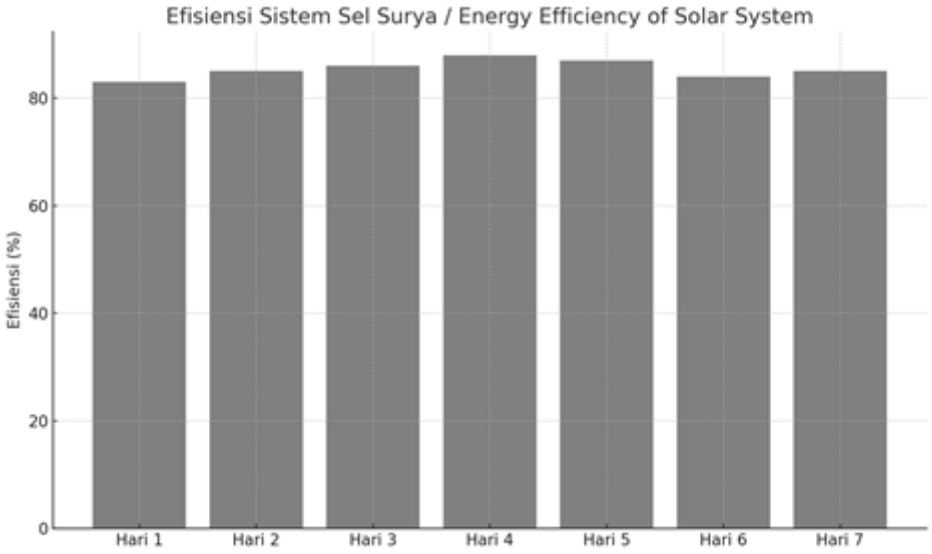
Dengan demikian, implikasi utama penerapan sistem pada tahap ini adalah tersedianya konteks pembelajaran yang menghubungkan teknologi energi terbarukan, proses budidaya, dan pengenalan kewirausahaan. Pengujian efisiensi energi dan kelayakan ekonomi secara kuantitatif masih diperlukan agar manfaat teknis dan ekonominya dapat dinilai berdasarkan data empiris.

Tabel 4 dan Gambar 2 menyajikan data simulasi efisiensi energi sistem sel surya selama tujuh hari, yang meliputi daya keluaran sebesar 820–890 Wh, efisiensi sistem sebesar 83–88%, dan penghematan energi sebesar 25–33%. Data tersebut memberikan gambaran ilustratif mengenai potensi pemanfaatan energi surya untuk mendukung kebutuhan operasional pompa sirkulasi dan aerator pada sistem hidroponik dan akuaponik. Selanjutnya, Tabel 5 dan Gambar 3 menyajikan data simulasi produksi hidroponik dan akuaponik berdasarkan empat siklus panen, yang mencakup sayuran daun, ikan konsumsi, kombinasi sayuran dan ikan, serta produk olahan. Data tersebut menggambarkan potensi kualitas hasil budidaya dan nilai ekonominya sebagai konteks pengenalan kegiatan kewirausahaan bagi peserta didik. Meskipun demikian, seluruh angka dan kategori yang disajikan merupakan data simulasi berdasarkan literatur terkait, bukan hasil pengukuran atau pengamatan empiris di SMK Nurul Iman Sewon, Bantul, sehingga belum dapat digunakan untuk menyimpulkan kinerja aktual sistem, efisiensi energi, produktivitas budidaya, maupun keuntungan ekonomi secara langsung.

Tabel 4: Parameter Teknis Sistem Energi Sel Surya (*Technical Parameters of the Solar Energy System*)

Hari	Energi Keluaran (Wh)	Efisiensi Sistem (%)	Estimasi Penghematan Energi (%)
1	820	83	25
2	850	85	28
3	870	86	30
4	890	88	33
5	860	87	31
6	840	84	27
7	850	85	29

Keterangan: Seluruh nilai merupakan data simulasi berdasarkan literatur terkait, bukan hasil pengukuran langsung di lokasi penelitian.

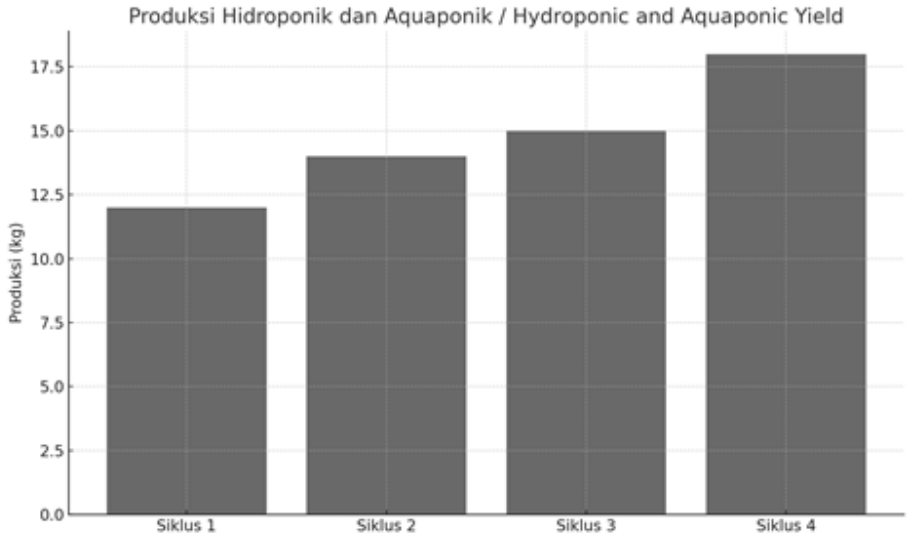


Gambar 2: Grafik Efisiensi Energi Sistem Sel Surya (Energy Efficiency of Solar System)

Tabel 5: Simulasi Potensi Hasil Budidaya Hidroponik dan Akuaponik *(Simulation of Potential Hydroponic and Aquaponic Production)*

Siklus	Jenis Produk	Kualitas Produk	Potensi Nilai Ekonomi
1	Sayuran Daun *(Leafy Greens)*	Baik	stabil
2	Ikan Konsumsi *(fish)*	Baik	Meningkat
3	Sayuran dan Ikan Kombinasi	Sangat Baik	Tinggi
4	Produk Olahan *(Processed Goods*	Baik	stabil

Keterangan: Tabel merupakan ilustrasi simulasi potensi hasil budidaya, bukan data hasil panen dan penjualan aktual.



Gambar 3: Grafik Produksi Hidroponik dan Akuaponik (Hydroponic and Aquaponic Yield)

Tantangan dan Peluang Pengembangan

Rancangan sistem akuaponik berbasis energi surya pada skala sekolah memerlukan perhatian terhadap beberapa aspek, antara lain kebutuhan investasi awal, pemeliharaan komponen listrik, keberlanjutan operasional pompa dan aerator, serta perawatan ikan dan tanaman. Selain itu, pengoperasian sistem memerlukan pemahaman mengenai penggunaan perangkat, pemantauan kualitas air, dan penanganan gangguan sederhana. Aspek-aspek tersebut perlu diperhatikan agar sistem dapat digunakan secara berkelanjutan sebagai sarana pembelajaran.

Dari sisi pendidikan, keberlanjutan pemanfaatan sistem ke depannya memerlukan keterlibatan guru pembimbing, penyusunan panduan praktikum, dan pembagian tanggung jawab pemeliharaan. Panduan tersebut dapat memuat prosedur pengoperasian, keselamatan kerja, pengukuran kualitas air, pencatatan hasil pengamatan, dan pemeliharaan komponen. Dengan adanya panduan, kegiatan praktikum dapat dilaksanakan secara lebih terarah dan terdokumentasi.

Peluang pengembangan selanjutnya mencakup penyempurnaan instalasi, penambahan instrumen pemantauan, dan pemanfaatan teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT) untuk memantau parameter operasional. Pengembangan tersebut dapat mendukung kegiatan pembelajaran yang menghubungkan Biologi, energi terbarukan, teknologi, dan kewirausahaan. Akan tetapi, penerapan teknologi tambahan perlu disesuaikan dengan kebutuhan, kemampuan pengelolaan, dan ketersediaan sumber daya sekolah.

Secara keseluruhan, kontribusi penelitian ini terletak pada rancangan sistem terintegrasi energi sel surya, hidroponik, dan akuaponik sebagai konteks pembelajaran praktikum dan kewirausahaan di SMK Nurul Iman Sewon, Bantul. Kontribusi tersebut bersifat implementatif dan kontekstual, bukan klaim penemuan teknologi baru ataupun bukti efektivitas pembelajaran dan kelayakan ekonomi. Evaluasi lebih lanjut dengan pengukuran teknis, penilaian pembelajaran, dan pencatatan ekonomi diperlukan untuk menguji manfaat sistem secara lebih komprehensif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Rancangan sistem terintegrasi energi sel surya, hidroponik, dan akuaponik di SMK Nurul Iman Sewon, Bantul, memiliki potensi sebagai konteks pembelajaran praktikum Biologi yang mengintegrasikan konsep energi terbarukan, pertumbuhan tanaman, ekosistem, serta interaksi antara komponen biotik dan abiotik. Sistem ini menyediakan lingkungan belajar kontekstual melalui kegiatan pengamatan, praktik budidaya, pemanfaatan energi surya, dan pengenalan pengelolaan sistem secara terpadu.

Kajian ini menghasilkan rancangan konseptual sistem akuaponik berbasis energi surya yang mengintegrasikan sumber energi, perangkat pendukung sirkulasi air, kolam ikan, unit penyaringan, dan unit tanaman. Analisis menunjukkan bahwa komponen dan proses dalam sistem tersebut dapat dipetakan menjadi konteks pembelajaran yang menghubungkan konsep Biologi, energi terbarukan, dan pengelolaan lingkungan. Selain itu, sistem akuaponik berbasis energi surya juga berpotensi dimanfaatkan untuk memperkenalkan kegiatan kewirausahaan kepada peserta didik melalui pengenalan proses produksi, pengelolaan hasil budidaya, pengemasan, perhitungan biaya, dan pemasaran produk.

Kontribusi kajian terletak pada uraian hubungan fungsional antarkomponen dan perumusan aktivitas pembelajaran beserta bentuk bukti belajar yang dapat dinilai. Namun, kajian ini belum membuktikan kinerja operasional, efektivitas pembelajaran, produktivitas budidaya, atau kelayakan ekonomi sistem. Aspek-aspek tersebut memerlukan pengujian teknis dan evaluasi empiris pada tahap pengembangan selanjutnya. Selain itu, efektivitas sistem dalam meningkatkan keterampilan praktikum, hasil belajar, sikap, dan kompetensi kewirausahaan peserta didik belum dievaluasi menggunakan instrumen pengukuran yang terstruktur. Kelayakan ekonomi, penghematan energi, dan keuntungan hasil budidaya juga belum dapat disimpulkan karena belum didukung pencatatan biaya dan penerimaan aktual. Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu dipahami sebagai kajian implementatif mengenai potensi pemanfaatan sistem terintegrasi dalam konteks pembelajaran di satu lingkungan sekolah.

Saran

Berdasarkan hasil kajian dan keterbatasan penelitian, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. **Pengembangan sistem.** Sistem perlu dikembangkan dengan desain modular agar komponen energi surya, hidroponik, dan akuaponik lebih mudah dipasang, dipelihara, diperbaiki, dan disesuaikan dengan kebutuhan sekolah.
2. **Penguatan pembelajaran.** Guru perlu memperoleh pendampingan dan pelatihan pengoperasian serta pemeliharaan sistem. Pemanfaatannya dalam pembelajaran dapat diintegrasikan dengan materi Biologi, energi terbarukan, teknologi, dan kewirausahaan sesuai kurikulum serta kompetensi program keahlian.
3. **Pengembangan kewirausahaan.** Kegiatan budidaya dapat diarahkan sebagai sarana pembelajaran kewirausahaan melalui pencatatan biaya produksi, pengelolaan hasil panen, pengemasan, penentuan harga jual, dan pengenalan strategi pemasaran. Kemitraan dengan masyarakat dan pelaku usaha lokal dapat dipertimbangkan untuk mendukung pengembangan kegiatan tersebut.
4. **Evaluasi teknis dan ekonomi.** Penelitian selanjutnya perlu melakukan pengukuran langsung terhadap daya keluaran panel surya, konsumsi energi pompa dan aerator, efisiensi sistem, kualitas air, pertumbuhan tanaman, serta produktivitas ikan. Analisis ekonomi juga perlu mencakup biaya investasi, biaya

operasional, pemeliharaan, hasil produksi, dan nilai jual untuk mengetahui kelayakan penerapan sistem secara nyata.

5. **Evaluasi pembelajaran.** Penelitian selanjutnya perlu menggunakan instrumen evaluasi yang terstruktur untuk mengukur hasil belajar, keterampilan praktikum, sikap ilmiah, dan kompetensi kewirausahaan peserta didik. Pengukuran dapat dilakukan sebelum dan sesudah kegiatan atau menggunakan desain evaluasi lain yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Penerapan sistem serupa di sekolah lain perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan, kebutuhan energi, ketersediaan sumber daya, karakteristik peserta didik, dan kurikulum masing-masing sekolah. Dengan demikian, pengembangan sistem dapat dilakukan secara bertahap berdasarkan kebutuhan dan kemampuan institusi pendidikan.

Pustaka

Baykır, A., Mirici, S., & Sönmez, D. (2023). Aquaponics systems as an educational tool: Effects on students' achievement and teachers' views. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 15(1):693–714, https://ijci.net/index.php/IJCI/article/view/1236.

Chandramenon, P., Aggoun, A., & Tchuenbou-Magaia, F. (2024). Smart approaches to aquaponics 4.0 with focus on water quality—comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 225:109256, DOI: 10.1016/j.compag.2024.109256.

Fathidarehnijeh, E., Nadeem, M., Cheema, M., Thomas, R., Krishnapillai, M., & Galagedara, L. (2023). Current perspective on nutrient solution management strategies to improve the nutrient and water use efficiency in hydroponic systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 104(2):88–102, DOI: 10.1139/cjps-2023-0034.

Fussy, A. & Papenbrock, J. (2022). An overview of soil and soilless cultivation techniques—chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants*, 11(9):1153, DOI: 10.3390/plants11091153.

Kluczkovski, A., Ehgartner, U., Pugh, E., Hockenhull, I., Heaps-Page, R., Williams, A., et al. (2024). Aquaponics in schools: Hands-on learning about healthy eating and a healthy planet. *Nutrition Bulletin*, 49(3):327–344, DOI: 10.1111/nbu.12689.

Okomoda, V. T., Oladimeji, S. A., Solomon, S. G., Olufeagba, S. O., Ogah, S. I., & Ikhwanuddin, M. (2023). Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. *Food Science and Nutrition*, 11(3):1157–1165, DOI: 10.1002/fsn3.3154.

Thompson, K. R., Webster, C. D., Pomper, K. W., & Krall, R. M. (2023). Use of a project-based aquaponics curriculum in rural kentucky school districts increases secondary students' understanding of ecosystems. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 19(3):e2313, DOI: 10.29333/ijese/13687.