



Akuaponik sebagai Pembelajaran Lingkungan Hidup Siswa SMA yang Selaras Misi Sekolah Adiwiyata

Marisa Christina Tapilouw^{1*}, Djohan², Suchyo³, Ezer Widhi Hartadji¹ dan Yakin Teguh Zega¹

¹Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Jl Diponegoro 52-60, Salatiga, Indonesia, 50711

²Program Studi Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Jl Diponegoro 52-60, Salatiga, Indonesia, 50711

³Program Studi Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Jl Diponegoro 52-60, Salatiga, Indonesia, 50711

*Email koresponden: marisa.tapilouw@uksw.edu

ARTIKEL INFO

Article history

Received: 10 Dec 2024

Accepted: 05 Mar 2025

Published: 31 Mar 2025

Kata kunci:

Akuaponik;
Lingkungan hidup;
Adiwiyata.

Keywords:

Aquaponic;
Natural environment;
Adiwiyata.

ABSTRAK

Background: Kegiatan pengabdian kepada masyarakat bertema akuaponik dilaksanakan berkaitan dengan pembelajaran lingkungan hidup. Urgensi kegiatan pengabdian masyarakat terkait akuaponik yaitu untuk memenuhi komponen program Adiwiyata, yaitu aspek kurikulum sekolah berbasis lingkungan dan aspek kegiatan sekolah berbasis partisipatif. **Metode:** Mitra pengabdian kepada Masyarakat yaitu SMA Negeri 3, SMAK Satya Wacana Salatiga serta kegiatan ini dilakukan pada bulan Oktober – Desember 2024. Peserta kegiatan yaitu 23 siswa untuk setiap SMA. Prosedur kegiatan meliputi lima tahap yaitu observasi awal; persiapan; pemaparan akuaponik; pelaksanaan; monitoring; evaluasi. **Hasil:** Siswa yang terlibat dalam kegiatan pengabdian masyarakat akuaponik antusias dalam pelaksanaan akuaponik sebagai bentuk pembelajaran lingkungan hidup. Harapan utama yaitu siswa aktif dalam pemeliharaan sistem akuaponik sehingga terjadi keberlanjutan lingkungan dan budidaya ikan-tanaman. **Kesimpulan:** Respon partisipan bersifat positif dalam hal kebermanfaatan kegiatan dan keselarasan program Adiwiyata sekolah.

ABSTRACT

Background: Community service with aquaponic theme linked with natural environment education. The urgency of this community service's activity with aquaponic theme were to accomplish Adiwiyata program's component, which are environmental based school curriculum aspect and participative based school activity. **Methods:** Community service partners are SMA Negeri 3, SMAK Satya Wacana Salatiga and this activity was done in October-December 2024. The participants were 23 students from each school. The procedure was included observation; preparation; presentation; implementation; evaluation. **Results:** The students who participated in this community service activity were enthusiast in aquaponic implementation as a form of environment education. Main hope is students involved actively in maintaining aquaponic system, so that there will be environmental sustainability and fish-plants cultivation. **Conclusions:** Participants' response were positive in terms of usefulness activity and alignment with school's Adiwiyata program.



© 2025 by authors. Lisensi Jurnal Solma, UHAMKA, Jakarta. Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

PENDAHULUAN

Pelaksanaan pengabdian masyarakat merupakan salah satu dari tiga kewajiban dosen (tridharma Perguruan Tinggi). Sebagai dosen, pengabdian masyarakat merupakan bentuk implementasi ilmu pengetahuan yang telah diajarkan dan diteliti. Masyarakat, termasuk sekolah membutuhkan peran dosen untuk mengembangkan suatu bentuk pembelajaran dan kegiatan

Doi: <https://doi.org/10.22236/solma.v14i1.17497>

ma@uhamka.ac.id | 1312



kesiswaan. Dalam kajian ini, keberlanjutan/*sustainability* lingkungan hidup merupakan permasalahan lingkungan hidup yang dapat ditempuh melalui akuaponik (Kloas et al., 2015; Zoli et al., 2024). Kegiatan pengabdian kepada masyarakat bertema akuaponik dilaksanakan berkaitan dengan pembelajaran lingkungan hidup. Dalam konteks pembelajaran lingkungan hidup, prinsip akuaponik dijelaskan pula dari sisi ilmu pengetahuan alam (IPA) seperti simbiosis antara ikan-tanaman dan nutrisi dalam air (Baganz et al., 2022; Krastanova et al., 2022; Tyson et al., 2011). Beberapa penelitian tentang Akuaponik di telah berkembang dalam teknologi *smart system* untuk diterapkan dalam pertanian modern berwawasan lingkungan dan fokus pada kualitas air (Kyaw & Ng, 2017; Chandramenon et al., 2024). Kegiatan Pengabdian Masyarakat merupakan bentuk kontinuitas kegiatan yang selaras dengan misi sekolah adiwiyata yang telah dilakukan Tapilouw et al. (2024).

Sekolah mitra yaitu (1) SMA Negeri 3 Salatiga merupakan sekolah berpredikat sekolah Adiwiyata dan (2) SMA Kristen Satya Wacana Salatiga merupakan sekolah yang menuju sekolah Adiwiyata. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 05 tahun 2013, tujuan sekolah adiwiyata yaitu mewujudkan sekolah yang peduli dan berbudaya Lingkungan Hidup dan prinsip Program Adiwiyata yaitu Edukatif, Partisipatif dan Berkelanjutan. Sekolah mitra membutuhkan kegiatan terkait lingkungan hidup yang mewadahi prinsip program Adiwiyata, salah satunya yaitu kegiatan terkait Akuaponik. Akuaponik merupakan integrasi antara hidroponik (budidaya tanaman) dan akuakultur (budidaya ikan). Kegiatan akuaponik dipilih berdasarkan wawancara dengan pihak sekolah mitra yang dilakukan pada akhir tahun 2023. Kegiatan pembelajaran lingkungan hidup dalam sistem akuaponik telah dilakukan di beberapa sekolah dan komunitas masyarakat (Cahyono et al., 2022; Hidayatulloh et al., 2022; Supriyatin et al., 2024; Pibriyanti et al., 2024; Kadir et al., 2023; Selain itu, beberapa kegiatan hidroponik yang berpotensi dikembangkan menjadi akuaponik telah dilakukan oleh (Maulana et al., 2024; Masfiah et al., 2022).

Berdasarkan referensi terkait biopori dan perannya dalam kaitan mewujudkan lingkungan berkelanjutan, disusun rencana kegiatan yang disusun yaitu konstruksi akuaponik, pendampingan dan pemeliharaan akuaponik di lingkungan SMAN 3 dan SMAK Satya Wacana Salatiga. Selain bentuk kegiatan pengabdian masyarakat, gagasan kegiatan akuaponik merupakan salah satu bentuk pembelajaran lingkungan hidup karena sistem keberlanjutan air dan IPA yaitu siklus Nitrogen, simbiosis yaitu tumbuhan memberi oksigen kepada ikan melalui air yang tersaring oleh media tanam. Kelebihan ini merupakan salah satu potensi pembelajaran bagi siswa untuk bercocok tanam masa kini (*urban farming*) dan siswa dapat memahami keberlanjutan lingkungan hidup.

Urgensi kegiatan pengabdian masyarakat terkait akuaponik yaitu untuk memenuhi salah satu komponen program Adiwiyata, yaitu aspek kurikulum sekolah berbasis lingkungan dan aspek kegiatan sekolah berbasis partisipatif. Tujuan sekolah adiwiyata yaitu mewujudkan sekolah yang peduli dan berbudaya Lingkungan Hidup. Berdasarkan pemaparan latar belakang kegiatan akuaponik, tujuan pengabdian masyarakat berupa pembelajaran lingkungan hidup tentang Akuaponik di SMAN 3 dan SMAK Satya Wacana Salatiga yaitu (1) mengkonstruksi Akuaponik sebagai sarana pembelajaran lingkungan; (2) memberikan pemahaman kepada siswa SMA tentang keberlanjutan lingkungan sebagai upaya yang selaras dengan misi sekolah Adiwiyata.

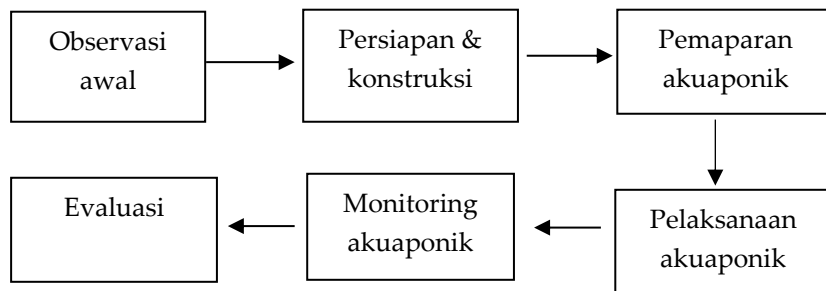


MASALAH

Berdasarkan hasil evaluasi pengabdian kepada masyarakat di SMA Negeri 3 dan SMA Kristen Satya Wacana pada tahun 2023, pihak mitra SMA Negeri 3 dan SMA Kristen Satya Wacana memberikan saran kepada pengabdi untuk melakukan pengabdian kepada masyarakat tentang Akuaponik. Alasan kegiatan bertema akuaponik selaras dengan misi sekolah adiwiyata yaitu (1) pemanfaatan air secara berkelanjutan/ *sustainability*; (2) membangkitkan sikap siswa untuk peduli lingkungan yang merupakan salah satu misi sekolah adiwiyata. Masalah lain yang ditemukan yaitu dibutuhkan kegiatan berkelanjutan untuk internalisasi perwujudan sekolah adiwiyata.

METODE PELAKSANAAN

Pengabdian Masyarakat dilakukan di SMA Negeri 3 Salatiga dan SMA Kristen Satya Wacana Salatiga pada rentang waktu Oktober – November 2024. Kegiatan Pengabdian Masyarakat ini merupakan lanjutan kegiatan Pengabdian Masyarakat yang dilakukan dalam kajian misi Sekolah Adiwiyata. Metode *service learning* merupakan metode yang digunakan dalam kegiatan Pengabdian Masyarakat ini. Prosedur Pengabdian Masyarakat terdiri atas enam tahap utama yang dideskripsikan pada Gambar 1. Responden kegiatan Pengabdian Masyarakat terdiri atas siswa/i SMAN 3, SMAK Satya Wacana sebanyak 25 pada setiap SMA yang tergabung dalam kelompok Adiwiyata.



Gambar 1. Prosedur Pengabdian kepada Masyarakat

Tahap dalam pengabdian kepada Masyarakat ini dimulai dari (1) observasi awal; (2) persiapan & konstruksi; (3) pemaparan Biopori (di tiap SMA); (4) pelaksanaan akuaponik (siswa SMA & pengabdi); (5) monitoring akuaponik (di tiap SMA); dan (6) evaluasi menyeluruh. Keenam tahap dijabarkan.

1. Tahap observasi awal

Pada tahap observasi awal, tim pengabdi melakukan observasi ke SMA Negeri 3 dan SMA Kristen Satya Wacana. Hal yang dilakukan meliputi Lokasi akuaponik, kebutuhan kegiatan pengabdian, konfirmasi waktu pelaksanaan, jumlah siswa sebagai target kegiatan selaras dengan misi sekolah adiwiyata.

2. Tahap persiapan dan konstruksi

Pada tahap persiapan dan koordinasi, tim pengabdi mempersiapkan instalasi dan bahan (bibit kangkung, ikan lele dan ikan nila) yang diperlukan untuk kegiatan pengabdian. Instalasi akuaponik (Tabel 1) SMA Negeri 3 menggunakan kolam di dekat masjid sekolah. Sementara itu, akuaponik SMA Kristen Satya Wacana menggunakan budikdamber (budidaya ikan dalam ember).

3. Tahap pemaparan akuaponik

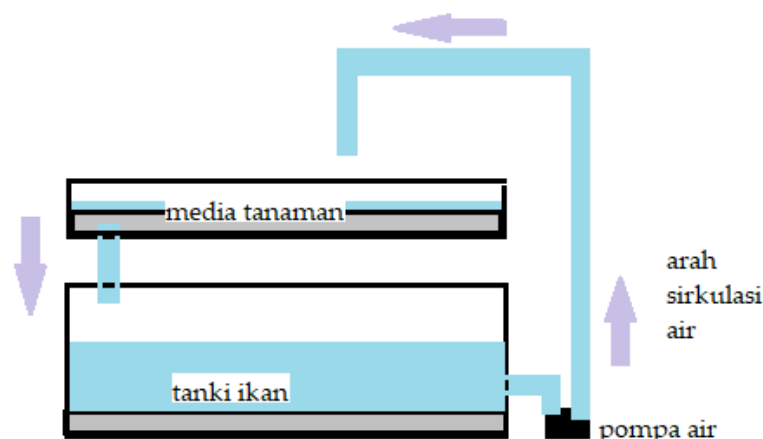
Tim pengabdian memaparkan tentang akuaponik dan lingkungan hidup. Responden pemaparan yaitu siswa SMA yang tergabung dalam tim adiwiyata. Materi inti yang dipaparkan yaitu tentang prinsip akuaponik (Gambar 2), siklus materi, tanaman, ikan, keberlanjutan lingkungan dan penjelasan teknis akuaponik.

Tabel 1. Instalasi akuaponik

Sekolah	Instalasi akuaponik
SMA Negeri 3	 <p>Posisi instalasi di dekat mesjid sekolah</p>
SMA Kristen Satya Wacana	 <p>Budikdamber ditempatkan di depan kelas Biologi</p>

4. Tahap pemaparan akuaponik

Tim pengabdian memaparkan tentang akuaponik dan lingkungan hidup. Responden pemaparan yaitu siswa SMA yang tergabung dalam tim adiwiyata. Materi inti yang dipaparkan yaitu tentang prinsip akuaponik (Gambar 2), siklus materi, tanaman, ikan, keberlanjutan lingkungan dan penjelasan teknis akuaponik.

**Gambar 2.** Ilustrasi prinsip akuaponik

5. Tahap Pelaksanaan akuaponik

Tahap ini dilakukan tim pengabdian, para guru terkait bersama para siswa. Hal yang dilakukan di SMA 3 yaitu mengajak siswa melakukan pengamatan tentang sistem akuaponik dan

pembersihan sistem akuaponik. Di SMA Kristen Satya Wacana, siswa diajak untuk menanam kangkung dan memberi pakan ikan lele pada budikdamber.

6. Tahap evaluasi

Pada tahap akhir ini, pihak sekolah (guru dan siswa yang mengikuti kegiatan Pengabdian Masyarakat) mengisi kuesioner kepuasan mitra terhadap pelayanan tim pengabdian dalam rangkaian kegiatan Pengabdian Masyarakat). Evaluasi kegiatan dilakukan sebagai bentuk refleksi. Indikator kepuasan meliputi metode penyampaian materi, kebermanfaatan, kepuasan terhadap kegiatan dan keselarasan dengan misi sekolah adiwiyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan akuaponik merupakan lanjutan kegiatan untuk mendukung program adiwiyata di SMA Negeri 3 dan SMA Kristen Satya Wacana Salatiga yang telah dilakukan oleh Tapilouw *et al.* (2024). Kegiatan pengabdian masyarakat di SMA N 3 dan SMA K Satya Wacana diselenggarakan pada bulan Oktober – Desember 2024 dan terdapat 46 siswa sebagai partisipan. Pada tahap observasi awal, akuaponik dapat diimplementasikan dalam konstruksi yang berbeda (Tabel 1). Sistem akuaponik pada SMA Negeri 3 Salatiga memanfaatkan kolam yang berada di dekat mesjid sekolah. Sementara itu, sistem akuaponik pada SMA Kristen Satya Wacana merupakan sistem akuaponik sederhana budidaya ikan dalam ember (budikdamber). Untuk SMA Negeri 3 Salatiga, instalasi akuaponik yang meliputi bagian hidroponik dan akuakultur disesuaikan dengan kondisi *existing* kolam ikan. Sementara itu, perlengkapan budikdamber dipersiapkan dengan perlengkapan sederhana seperti ember, gelas plastik dan kran air. Pada kedua sekolah ini, siswa diberikan pemahaman tentang cara mengkonstruksi Aquaponik sehingga siswa dapat mengetahui tentang prinsip aquaponik walaupun dalam konstruksi yang berbeda.

Sistem akuaponik sebagai solusi yang mendukung program adiwiyata sekolah dan sebagai bentuk pembelajaran lingkungan hidup. Jenis tanaman yang dibudidaya yaitu kangkung. Untuk sisi budidaya ikan, ikan nila dibudidaya pada sistem akuaponik SMA Negeri 3 dan ikan lele dibudidaya pada sistem akuaponik SMA Kristen Satya Wacana. Tahap berikutnya yaitu pemaparan tentang akuaponik kepada sekelompok siswa SMA (Gambar 3) yang meliputi prinsip akuaponik, siklus nitrogen, tanaman budidaya, ikan budidaya dan teknis pemeliharaan akuaponik. Sasaran pemaparan ini yaitu membuka wawasan siswa tentang keberlanjutan/ *sustainability* lingkungan hidup melalui sistem akuaponik.



(a)



(b)

Gambar 3. Pemaparan akuaponik di (a) SMA Negeri 3; (b) SMA Kristen Satya Wacana

Sebagaimana kita ketahui, salah satu masalah lingkungan hidup yang menjadi perhatian yaitu pencemaran lingkungan yang dapat dipicu dengan penggunaan pestisida dan pupuk kimia berlebih. Sistem akuaponik dapat meminimalisasi penggunaan pupuk kimia karena adanya siklus

nitrogen dalam air, (1) amonia dihasilkan dari sisa metabolisme ikan masuk ke dalam siklus nitrogen dengan bantuan bakteri nitrifikasi; (2) nitrat digunakan oleh tanaman menjadi sumber nutrisi pertumbuhan. Hal ini memungkinkan siswa mempelajari simbiosis ikan-tanaman dan nutrisi dalam air berdasarkan siklus nitrogen (Baganz et al., 2022; Krastanova et al., 2022; Tyson et al., 2011). Akuaponik merupakan pembelajaran lingkungan hidup karena konsep keberlanjutan */sustainability* seperti telah diteliti dalam penelitian Kloas et al. (2015); Zoli et al. (2024). Kedua sistem akuaponik yang diterapkan di kedua sekolah merupakan sistem akuaponik sederhana yaitu pemanfaatan kolam ikan yang tersedia di sekolah dan budidaya ikan-sayuran dalam ember. Sistem ini diharapkan dapat dirawat supaya terjadi keberlanjutan lingkungan. Potensi pengembangan sistem akuaponik menggunakan *smart system* berwawasan lingkungan hidup telah diteliti oleh beberapa peneliti Kyaw & Ng (2017); Chandramenon et al. (2024).

Setelah siswa menerima pemaparan tentang akuaponik, siswa mengeksplorasi akuaponik. Pada sistem akuaponik SMA N 3, terdapat temuan yaitu tangkapan cahaya matahari berbeda untuk bagian media tanam kangkung dan terdapat sampah daun kering di kolam ikan yang dapat mengganggu sirkulasi air. Siswa SMA N 3 terlihat antusias dalam eksplorasi akuaponik (**Gambar 4**). Saat implementasi sistem aquaponik budikdamber di SMA K Satya Wacana, siswa menanam bibit kangkung pada media tanam setelah ikan lele diadaptasikan selama tiga hari dalam ember budidaya ikan.



Gambar 4. Pendampingan akuaponik (a) SMAN 3; (b) SMA K Satya Wacana

Prinsip sederhana yang diamati siswa saat pendampingan akuaponik yaitu (1) budidaya tanaman; (2) budidaya ikan. Beberapa siswa menunjukkan motivasi untuk mengembangkan akuaponik sebagai potensi wirausaha. Hal ini termasuk temuan kegiatan pengabdian masyarakat melalui wawancara informal dengan beberapa siswa. Kegiatan pengabdian masyarakat seperti ini diharapkan berdampak bagi sekolah dan komunitas masyarakat seperti yang telah dilakukan oleh Cahyono et al. (2022); Hidayatulloh et al. (2022); Supriyatin et al. (2024); Pibriyanti et al. (2024); Kadir et al. (2023).

Saat kegiatan pengabdian masyarakat ini, terdapat temuan yang menarik. Siswa SMA 3 (**Gambar 5(a)**) dan SMA K Satya Wacana (**Gambar 5(b)**) memiliki minat besar dalam kesadaran lingkungan hidup dalam kehidupan sehari-hari. Temuan ini terekspressi saat pemaparan tentang keberlanjutan lingkungan hidup dari sudut pandang ilmu pengetahuan yaitu adanya siklus materi (Nitrogen) berkelanjutan dan sudut pandang urban farming yaitu budidaya ikan, tanaman pada lahan terbatas yang cocok dilakukan saat ini.



(a)



(b)

Gambar 5. Harapan keberlanjutan akuaponik (a) SMAN 3; (b) SMA K Satya Wacana

Monitoring akuaponik dilakukan dua minggu setelah pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat (Gambar 6). Pada Gambar 6 (a), teramati bahwa ada tanaman kangkung yang layu/ mati akibat kurangnya paparan sinar matahari. Selain itu dilakukan pemberian pakan ikan, perawatan pembersihan kolam dari sampah dedaunan untuk memperlancar sirkulasi dan meminimalisasi terjadinya sumbatan pada pompa air dan perpipaan. Solusi yang dilakukan yaitu penggantian tanaman dengan tanaman mint yang relatif lebih adaptif terhadap minim situasi sinar matahari. Monitoring juga dilakukan pada budikdamber (Gambar 6 (b)). Perawatan yang dilakukan yaitu pembersihan media tanaman dari jamur yang menempel, pembuangan kotoran dengan cara membuka kran, pemberian pakan ikan dan pemberian EM4.



(a)



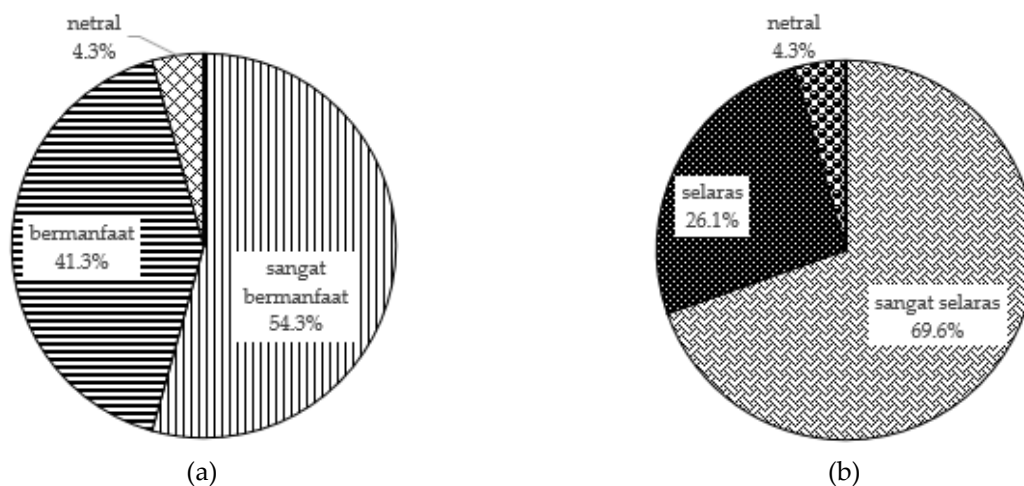
(b)

Gambar 6. Monitoring Akuaponik (a) SMA N 3; (b) SMA K Satya Wacana

Pada akhir kegiatan, partisipan diminta mengisi kuesioner dengan indikator (1) kebermanfaatan kegiatan dan (2) keselarasan kegiatan dengan misi sekolah adiwiyata. Selain melalui kuesioner, pemahaman siswa tentang keberlanjutan lingkungan diukur melalui diskusi setelah kegiatan pengabdian Masyarakat. Refleksi indikator kebermanfaatan kegiatan disajikan pada Gambar 7(a). Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian bermanfaat bagi siswa dan sekolah yang ditunjukkan dengan respon sangat bermanfaat (54,3%), bermanfaat (41.3%) dan netral (4.3%).

Salah satu bentuk manfaat kegiatan yaitu menambah wawasan siswa tentang keberlanjutan lingkungan dari sudut pandang IPA dan urban farming.

Untuk indikator keselarasan dengan misi sekolah adiwiyata, kegiatan pengabdian kepada masyarakat selaras dengan misi sekolah adiwiyata. Pada Gambar 7(b), responden berpendapat bahwa kegiatan akuaponik sangat selaras (69.6%) dan selaras (26.1%) dengan misi sekolah adiwiyata. Kegiatan ini dapat menjadi suatu inspirasi bagi siswa untuk mewujudkan sekolah adiwiyata yang terinternalisasi dalam diri warga sekolah SMA N 3 dan SMA K Satya Wacana Salatiga.



Gambar 7. Evaluasi (a) kebermanfaatan kegiatan; (b) keselarasan dengan misi sekolah adiwiyata

Kegiatan pengabdian masyarakat Akuaponik yang telah dilaksanakan di SMA Negeri 3 dan SMA K Satya Wacana Salatiga didukung dan direspon baik oleh pihak sekolah/warga sekolah. Tim pengabdian berharap kegiatan akuaponik berdampak terhadap sekolah terutama dalam pembelajaran lingkungan hidup dan keselarasan dengan misi sekolah adiwiyata. Akhirnya, perlu ada keberlanjutan dan kontinuitas kegiatan pengabdian masyarakat secara berkala.

KESIMPULAN

Kegiatan akuaponik telah tercapai dalam konteks pendampingan awal. Kegiatan ini telah sesuai antara masalah lingkungan dan kebutuhan yang dihadapi oleh sekolah mitra. Dampak kegiatan diharapkan bersifat berkelanjutan/*sustainable* sebagai bentuk pembelajaran lingkungan hidup dan mendukung program adiwiyata. Kegiatan telah dilakukan secara baik dan memperoleh respon baik dari pihak mitra dalam hal kebutuhan sekolah, kebermanfaatan kegiatan, kepuasan mitra dan keselarasan kegiatan dengan misi sekolah adiwiyata serta mendukung pembelajaran lingkungan hidup terkhusus keberlanjutan lingkungan hidup. Rekomendasi untuk kegiatan PKM berikutnya yaitu pemanfaatan sampah di lingkungan sekolah dan inisiasi pembentukan bank sampah sekolah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pengabdian mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana yang telah mendanai kegiatan pengabdian Masyarakat ini serta SMA Negeri 3 dan SMA Kristen Satya



Wacana yang telah memfasilitasi dan memberikan izin pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Baganz, G. F. M., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., Staaks, G., Shaw, C., Lohrberg, F., & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. In *Reviews in Aquaculture* (Vol. 14, Issue 1, pp. 252–264). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>
- Cahyono, B. D., Rahmawan, A., Drana Wasistha, T., Rhomandhoni, Z., Novitasari, E., Puspita Sari, P., Kusumaningrum, S., Andreansyah, R., Hasibuan, B. S. P., Fitriyanti, N., & Putra, E. S. (2022). KKN UMD: Wirausaha Desa Summersuko melalui Program Aquaponik Sebagai Upaya Katahanan Pangan. In *KIAT Journal of Community Development* (Vol. 1, Issue 2).
- Chandramenon, P., Aggoun, A., & Tchuenbou-Magaia, F. (2024). Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality – Comprehensive review. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 225, pp. 1–12). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109256>
- Hidayatulloh, M. K. Y., Romadoni, D., Lestari, D. F., Ummah, R., & Alfatah, D. A. (2022). Pelatihan Akuaponik dengan BUDIKDAMBER upaya Memenuhi Kebutuhan Protein Nabati dan Hewani di Lahan Terbatas Masyarakat Desa Kedunglosari. *Bima Abdi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(1), 124–132. <https://doi.org/10.53299/bajpm.v2i1.145>
- Kadir, M., Chadajah, A., Hidayati, W., & Kafrawi. (2023). Implementation of Aquaponics with Solar Pumps for Efficiency of Tilapia Fish Cultivation In “MANDIRI” Farmer Group of Sidrap Regency, South Sulawesi. *Jurnal GEMBIRA (Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 1(4), 1002–1009.
- Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Staaks, G., Suhl, J., Tschirner, M., Wittstock, B., Wuertz, S., Zikova, A., & Rennert, B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(2), 179–192. <https://doi.org/10.3354/aei00146>
- Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: biological and technological parameters. In *Biotechnology and Biotechnological Equipment* (Vol. 36, Issue 1, pp. 305–316). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2074892>
- Kyaw, T. Y., & Ng, A. K. (2017). Smart Aquaponics System for Urban Farming. *Energy Procedia*, 143, 342–347. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.694>
- Masfuah, S., Fakhriyah, F., & Kuryanto, M. S. (2022). Pendampingan Pembuatan Hidroponik Sebagai Media Pembelajaran Berbasis Konservasi Untuk Guru SD 3 Peganjuran Kudus. *Jurnal SOLMA*, 11(2), 314–319. <https://doi.org/10.22236/solma.v11i2.8279>



- Maulana, A., Afriliana, I., & Basit, A. (2024). Peningkatan Pengetahuan Pemanfaatan Hidroponik Berbasis Internet of Things Pada Lahan Sempit Kepada Ibu PKK. *Jurnal SOLMA*, 13(2), 1605–1612. <https://doi.org/10.22236/solma.v13i3.15022>
- Pibriyanti, K., Mufidah, I., Fajr Rooiqoh, Q., Akhiriana, E., Luthfiya, L., & Amala, N. (2024). Community Empowerment in Widodaren Village by Creating a Nutrition Garden as an Effort to Prevent Stunting. *Jurnal SOLMA*, 13(1), 233–244. <https://doi.org/10.22236/solma.v13i1.14240>
- Supriyatin, Rahayu, S., Fitriasih, F., Khasanah Arifin, U., Aditya Yanuar, R., & Ismail, T. (2024). Akuaponik: Alternatif Kemandirian Masyarakat dalam Pemenuhan Gizi Keluarga. *Jurnal SOLMA*, 13(2), 986–996. <https://doi.org/10.22236/solma.v13i2.12738>
- Tapilouw, M. C., Sucahyo, S., Djohan, D., Adhi Nugroho, J., Galang Priatama, R., Adi Wicaksono, R., Nur Pratiwi, D., & Teguh Zega, Y. (2024). Revitalisasi dan Pembuatan Biopori di SMAN 2, SMAN 3 dan SMAK Satya Wacana Salatiga Selaras dengan Misi Sekolah Adiwiyata. *Jurnal SOLMA*, 13(1), 437–451. <https://doi.org/10.22236/solma.v13i1.13385>
- Tyson, R. V, Treadwell, D. D., & Simonne, E. H. (2011). *Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems*.
- Zoli, M., Rossi, L., Bacenetti, J., & Aubin, J. (2024). Upscaling and environmental impact assessment of an innovative integrated multi-trophic aquaponic system. *Journal of Environmental Management*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122327>