

## AQUA-TECH: Pemberdayaan Siswa Sma Negeri 2 Skanto Jayapura Melalui Integrasi Karbon Aktif dan Arduino Untuk Pemantauan Kualitas Air Berkelanjutan

Octolia Togibasa<sup>1\*</sup>, Muhammad Asghar Nazal<sup>2</sup>, Khaeriah Dahlam<sup>3</sup>, Hardi Hamzah<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Program Studi Fisika, Universitas Cenderawasih, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Sistem Informasi, Universitas Cenderawasih, Indonesia

e-mail: [octolia@gmail.com](mailto:octolia@gmail.com)

### INFO ARTIKEL

### ABSTRAK

#### Article history:

Diterima: 8 September 2025

Direvisi: 20 September 2025

Disetujui: 24 September 2025

#### Available online

#### DOI:

10.31605/sipakaraya.v4i1.5458

#### How to cite (APA):

Togibasa, O., Nazal, M. A., Dahlan, K., & Hamzah, H. (2025). AQUA-TECH: Pemberdayaan Siswa Sma Negeri 2 Skanto Jayapura Melalui Integrasi Karbon Aktif dan Arduino Untuk Pemantauan Kualitas Air Berkelanjutan. *Sipakaraya : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 17 - 24.

ISSN 2963-3885

#### Abstrak

Jayapura menghadapi permasalahan serius terkait kualitas air yang berdampak pada kesehatan masyarakat dan lingkungan. Dalam upaya meningkatkan kesadaran dan keterlibatan generasi muda dalam pemantauan kualitas air, program pengabdian "AQUA-TECH" dirancang untuk memberdayakan siswa SMA Negeri 2 Skanto Jayapura melalui integrasi teknologi karbon aktif dan Arduino. Program ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) sekaligus memperkenalkan mereka pada teknologi pemantauan kualitas air berbasis sensor dan Internet of Things (IoT). Metode pengabdian meliputi persiapan dan perencanaan, pengembangan sistem pemantauan kualitas air menggunakan sensor dan Arduino, serta pelatihan intensif bagi siswa dan guru mengenai teknologi pemantauan air dan konservasi lingkungan. Program ini juga mendorong keterlibatan masyarakat dalam pemantauan kualitas air secara berkelanjutan. Hasil menunjukkan bahwa sistem pemantauan berhasil dirakit dan diuji dengan akurasi valid, sementara workshop dan praktik lapangan meningkatkan pemahaman siswa terhadap STEM hingga 92%, kemampuan praktik Arduino mencapai 91%, dan keterampilan pemantauan lapangan sebesar 90%. Selain itu, keterlibatan masyarakat melalui laporan kualitas air memperkuat transparansi dan kesadaran lingkungan.

**Kata kunci :** Arduino, Filtrasi Karbon Aktif, Kualitas Air, Pendidikan STEM



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

#### Abstract

*Jayapura faces serious challenges related to water quality, which directly impact public health and the environment. To enhance awareness and engagement of the younger generation in water quality monitoring, the community service program "AQUA-TECH" was designed to empower students of SMA Negeri 2 Skanto Jayapura through the integration of activated carbon filtration and Arduino technology. The program aims to improve students' understanding of STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) while introducing them to water quality monitoring technologies based on sensors and the Internet of Things (IoT). The methods included preparation and planning, development of a water quality monitoring system using sensors and Arduino, and intensive training for students and teachers on monitoring technologies and environmental conservation. The program also encouraged community involvement in sustainable water quality monitoring. The results showed that the monitoring system was successfully assembled and tested with valid accuracy, while*

*workshops and field practices increased students' STEM understanding up to 92%, Arduino practice skills up to 91%, and field monitoring competence up to 90%. Furthermore, community engagement through water quality reports strengthened transparency and environmental awareness.*

**Keywords :** *Arduino, Activated Carbon Filtration, Water Quality, STEM Education.*

## PENDAHULUAN

Jayapura, sebagai ibu kota Provinsi Papua, menghadapi masalah serius terkait kualitas air yang berdampak pada kesehatan masyarakat dan lingkungan. Sumber pencemar utama berasal dari limbah domestik, industri, dan pertanian, dengan temuan polutan seperti TSS, COD, BOD, fosfat, merkuri, dan nikel melebihi ambang batas (Lelan & Dalle, 2021). Sungai-sungai di Jayapura kini berstatus buruk hingga marjinal, tidak layak untuk konsumsi langsung, dan hanya terbatas untuk irigasi. Kondisi ini diperburuk oleh perubahan iklim yang memengaruhi curah hujan dan meningkatkan risiko pencemaran.

Permasalahan lingkungan tersebut turut berdampak pada sektor pendidikan di Papua, khususnya di tingkat sekolah menengah atas, yang menghadapi kendala dalam implementasi pendidikan STEM secara efektif. Meskipun pemerintah telah menginisiasi program integrasi STEM ke dalam kurikulum sekolah sebagai bagian dari Visi 2050, pelaksanaannya masih terkendala oleh keterbatasan sumber daya, kurangnya guru yang berkompeten di bidang STEM, serta minimnya kesempatan pembelajaran praktis bagi siswa (Astawa et al., 2021; Kravia et al., 2024).

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan keterlibatan aktif berbagai pihak, termasuk institusi pendidikan. SMA Negeri 2 Skanto Jayapura, sebagai salah satu lembaga pendidikan menengah di wilayah tersebut, memiliki potensi besar untuk berkontribusi dalam meningkatkan kualitas pendidikan STEM sekaligus membantu menjawab permasalahan lingkungan yang dihadapi masyarakat.

SMA Negeri 2 Skanto Jayapura memiliki potensi besar untuk menjadi pionir dalam mengintegrasikan pendidikan STEM dengan isu-isu lingkungan lokal. Namun, sekolah menghadapi sejumlah kendala yang membatasi realisasi potensi tersebut. Pertama, terdapat keterbatasan infrastruktur dan sumber daya pengajaran yang mendukung pembelajaran STEM, termasuk laboratorium dan peralatan teknologi. Kedua, integrasi teknologi dalam pembelajaran masih minim, sehingga siswa jarang mendapatkan pengalaman praktik yang relevan dengan konteks lokal, seperti pemantauan kualitas air. Ketiga, kesadaran dan keterlibatan siswa dalam isu lingkungan masih rendah, dan kapasitas guru dalam mengajar STEM terintegrasi terbatas karena minimnya pelatihan dan pengalaman (Kravia et al., 2024; Anggriawan, 2025).

Secara spesifik, permasalahan prioritas dapat dibagi menjadi dua bidang. Dalam pendidikan STEM, siswa memiliki kesempatan terbatas untuk pembelajaran praktis berbasis teknologi seperti Arduino, kurikulum belum sepenuhnya mengaitkan isu lingkungan lokal, dan guru memerlukan pengembangan profesional untuk mengimplementasikan metode pembelajaran STEM berbasis proyek (Anggriawan, 2025). Sementara itu, dalam pemantauan dan pengelolaan kualitas air, Jayapura menghadapi keterbatasan sistem pemantauan yang efektif dan terjangkau, rendahnya kesadaran serta partisipasi masyarakat termasuk siswa, serta keterbatasan infrastruktur dan sumber daya untuk pengelolaan air dan limbah (Kirsch, 2003; Kirschke et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan sebuah program inovatif yang mampu mengintegrasikan pendidikan STEM dengan isu lingkungan lokal melalui teknologi tepat guna, salah satunya adalah Program AQUA-TECH.

Program AQUA-TECH dirancang dengan empat komponen utama. Pertama, pengembangan sistem pemantauan kualitas air terintegrasi, meliputi sistem filtrasi karbon aktif untuk mengurangi kontaminan, penggunaan sensor berbasis Arduino untuk mengukur pH, suhu, TDS, dan kekeruhan, serta integrasi IoT untuk pemantauan jarak jauh melalui platform web atau aplikasi mobile (Hong et al., 2021; Berman, 2021; Mustain et al., 2025). Kedua, pendidikan STEM terintegrasi, yang mencakup kurikulum berbasis proyek terkait kualitas air, pelatihan Arduino dan pemrograman sensor bagi siswa dan guru, serta workshop lingkungan dan konservasi air untuk meningkatkan pemahaman dan keterlibatan siswa (Taylor et al., 2022). Ketiga, pemberdayaan komunitas dan keterlibatan masyarakat, melalui program

pemantauan kualitas air berbasis masyarakat, kampanye kesadaran lingkungan, serta kolaborasi dengan lembaga lokal untuk memperluas dampak dan membangun jejaring pemangku kepentingan. Keempat, pengembangan kapasitas dan keberlanjutan, mencakup pelatihan guru, pengembangan materi pembelajaran kontekstual, dan evaluasi berkelanjutan untuk memastikan implementasi efektif serta perbaikan program berdasarkan umpan balik dan hasil evaluasi (Taylor et al., 2022).

Untuk menjawab tantangan ini, program AQUA-TECH dirancang dengan mengintegrasikan teknologi karbon aktif dan Arduino dalam pemantauan kualitas air. Program ini bertujuan meningkatkan pembelajaran STEM berbasis proyek, menumbuhkan kesadaran lingkungan, serta membekali siswa dengan keterampilan praktis yang relevan. Melalui implementasinya, siswa SMA Negeri 2 Skanto Jayapura tidak hanya memperoleh pengalaman belajar yang kontekstual, tetapi juga berkontribusi langsung dalam kegiatan pemantauan dan pengelolaan kualitas air di Jayapura. Dengan demikian, sekolah berperan ganda: meningkatkan kualitas pendidikan STEM sekaligus mendorong keterlibatan generasi muda dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.

## **METODE PELAKSANAAN**

### **1. Persiapan dan Perencanaan**

- a. Pembentukan Tim Pelaksana: Membentuk tim yang terdiri dari dosen, teknisi, dan mahasiswa dengan keahlian di bidang STEM, lingkungan, dan teknologi Arduino.
- b. Koordinasi dengan Mitra: Melakukan pertemuan awal dengan pihak SMA NEGERI 2 SKANTO Jayapura untuk membahas rencana pelaksanaan program dan mengidentifikasi kebutuhan spesifik sekolah dan menyesuaikan rencana program sesuai dengan kondisi lokal.
- c. Pengembangan Materi dan Kurikulum: Merancang modul pembelajaran STEM terintegrasi yang berfokus pada pemantauan kualitas air dan menyusun panduan praktikum untuk penggunaan Arduino dan sensor kualitas air.

### **2. Implementasi Sistem Pemantauan Kualitas Air**

- a. Pengadaan dan Perakitan Perangkat: Pengadaan dan merakit sistem pemantauan kualitas air berbasis Arduino dengan sensor (pH, suhu, TDS, kekeruhan) yang terintegrasi dengan filtrasi karbon aktif (Gokulanathan et al., 2019; Davis et al., 2024).
- b. Pengembangan Perangkat Lunak: Menulis kode program Arduino untuk membaca data dari sensor dan menyimpannya ke SD card (Gokulanathan et al., 2019)
- c. Kalibrasi dan Pengujian: Melakukan kalibrasi sensor menggunakan standar yang sesuai untuk memastikan akurasi pengukuran (Gokulanathan et al., 2019).

### **3. Pelatihan dan Pemberdayaan**

- a. Workshop Arduino dan Pemrograman Sensor: Menyelenggarakan workshop intensif selama 2 hari untuk siswa dan guru tentang dasar-dasar Arduino dan pemrograman sensor serta melakukan praktik langsung perakitan sistem pemantauan kualitas air.
- b. Pelatihan Pemantauan Kualitas Air: Mengadakan sesi pelatihan tentang parameter kualitas air, teknik pengambilan sampel, dan interpretasi data.
- c. Workshop Lingkungan dan Konservasi Air: Menyelenggarakan workshop sehari tentang isu-isu lingkungan lokal dan pentingnya konservasi air.

### **4. Implementasi Program Pemantauan Berbasis Masyarakat**

- a. Pemilihan Lokasi Pemantauan: Bersama siswa dan guru, mengidentifikasi minimal 3 titik pemantauan kualitas air di sekitar sekolah dan komunitas.
- b. Pelaksanaan Pemantauan: Mengumpulkan dan menganalisis data kualitas air secara berkala.
- c. Pelaporan dan Diseminasi: Membuat laporan bulanan tentang kualitas air yang dapat diakses oleh masyarakat.

### **5. Pengembangan Kapasitas Berkelanjutan**

- a. Pendampingan Guru: Melakukan pendampingan intensif kepada guru-guru dalam mengintegrasikan materi pemantauan kualitas air ke dalam kurikulum STEM.

- b. Pengembangan Proyek Siswa: Membimbing siswa dalam mengembangkan proyek-proyek inovatif terkait pemantauan dan pengelolaan kualitas air.
- c. Kolaborasi dengan Lembaga Lokal: Membangun kemitraan dengan lembaga pemerintah dan organisasi lingkungan lokal untuk mendukung keberlanjutan program.

## 6. Evaluasi dan Perbaikan Berkelanjutan

- a. Pengumpulan Umpan Balik: Melakukan survei dan wawancara dengan siswa, guru, dan masyarakat untuk menilai dampak program dan menganalisis data partisipasi dan hasil belajar siswa.
- b. Evaluasi Program: Melakukan evaluasi komprehensif terhadap seluruh aspek program, termasuk efektivitas sistem pemantauan, kualitas pembelajaran, dan dampak komunitas.
- c. Penyusunan Laporan dan Rekomendasi: Menyusun laporan akhir yang mencakup hasil program, tantangan yang dihadapi, dan pembelajaran yang diperoleh serta mengembangkan rekomendasi untuk keberlanjutan dan replikasi program di masa depan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil

- a. Persiapan dan Perencanaan
  - Tim pelaksana yang terdiri dari dosen, teknisi, dan mahasiswa berhasil dibentuk dengan peran jelas dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas air dan pendidikan STEM.
  - Koordinasi dengan SMA Negeri 2 Skanto Jayapura menghasilkan identifikasi kebutuhan sekolah, termasuk fasilitas laboratorium, jumlah siswa yang akan dilibatkan, dan titik pemantauan air di sekitar sekolah.
  - Modul pembelajaran STEM terintegrasi dan panduan praktikum Arduino serta sensor kualitas air berhasil dikembangkan, siap digunakan dalam workshop dan pembelajaran berbasis proyek.
- b. Implementasi Sistem Pemantauan Kualitas Air
  - Sistem pemantauan berbasis Arduino dengan sensor pH, suhu, TDS, kekeruhan, dan filtrasi karbon aktif berhasil dirakit dan diuji.
  - Perangkat lunak untuk pembacaan sensor, penyimpanan data ke SD card, dan visualisasi sederhana berhasil dibuat.
  - Kalibrasi sensor dilakukan, menunjukkan akurasi pengukuran sesuai standar laboratorium, memungkinkan pengambilan data kualitas air yang valid.
- c. Pelatihan dan Pemberdayaan Siswa dan Guru
  - Workshop intensif Arduino dan pemrograman sensor berlangsung selama 2 hari dengan partisipasi penuh dari siswa dan guru, diikuti praktik langsung perakitan sistem.
  - Pelatihan pemantauan kualitas air meningkatkan pemahaman siswa tentang parameter kualitas air, teknik pengambilan sampel, dan analisis data.
  - Workshop lingkungan dan konservasi air memperluas wawasan siswa tentang isu kualitas air lokal dan pentingnya pelestarian lingkungan.



**Gambar 1.** Pelatihan penggunaan sistem pengujian kualitas air

- d. Implementasi Pemantauan Berbasis Masyarakat
  - Tiga titik pemantauan di sekitar sekolah dan komunitas telah dipilih, dengan pemantauan rutin mingguan dilakukan oleh tim siswa.
  - Data kualitas air dikumpulkan, dianalisis, dan disusun dalam laporan bulanan yang dapat diakses masyarakat, meningkatkan transparansi dan keterlibatan komunitas.
- e. Pengembangan Kapasitas Berkelanjutan
  - Guru menerima pendampingan intensif dalam integrasi materi pemantauan kualitas air ke kurikulum STEM, meningkatkan kemampuan mengajar berbasis proyek.
  - Siswa berhasil mengembangkan beberapa proyek inovatif terkait pemantauan dan pengelolaan kualitas air, beberapa dipresentasikan dalam kompetisi internal STEM.
  - Kemitraan dengan lembaga pemerintah dan organisasi lingkungan lokal terbentuk, mendukung keberlanjutan program.
- f. Evaluasi dan Perbaikan
  - Survei dan wawancara menunjukkan peningkatan pemahaman siswa terhadap STEM, kesadaran lingkungan, dan keterampilan praktis.
  - Evaluasi program menunjukkan sistem pemantauan berfungsi efektif, pembelajaran berbasis proyek berhasil diterapkan, dan keterlibatan komunitas meningkat.
  - Rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut mencakup penambahan titik pemantauan, peningkatan modul pembelajaran, dan integrasi lebih lanjut dengan program lingkungan kota.

**Tabel 1.** Persentase indikator evaluasi program

| No | Indikator                             | Persentase |
|----|---------------------------------------|------------|
| 1  | Pemahaman STEM Setelah Program        | 92 %       |
| 2  | Penerapan Sistem Monitoring           | 88 %       |
| 3  | Dampak dan Keberlanjutan              | 85 %       |
| 4  | Evaluasi Sistem Filtrasi Karbon Aktif | 80 %       |
| 5  | Evaluasi Sistem Terintegrasi          | 87 %       |
| 6  | Evaluasi Praktik Lapangan             | 90 %       |
| 7  | Evaluasi Pemahaman Mikrokontroler     | 86 %       |
| 8  | Evaluasi Penggunaan Arduino Uno       | 89 %       |
| 9  | Evaluasi Praktik Arduino              | 91 %       |

## 2. Pembahasan

Kegiatan pengabdian AQUA-TEC yang dilaksanakan oleh tim dosen dan mahasiswa Universitas Cenderawasih di SMA Negeri 2 Skanto Jayapura mendapat respons positif dari siswa, guru, maupun pihak sekolah. Seperti diberitakan oleh berbagai media lokal <https://www.papuapos.com/pendidikan/uncen-ajak-siswa-sma-2-skanto-cinta-sains-lewat-kegiatan-teknologi-aqua-tec/>, <https://portalpapua.pikiran-rakyat.com/pendidikan/pr-1309380577/ketua-tim-pengabdian-uncen-octolia-togibasa-apresiasi-minat-siswa-sma-negeri-2-skanto-terhadap-teknologi-sain>, <https://www.lintaspapua.com/pendidikan/65515265299/tim-dosen-dan-mahasiswa-universitas-cenderawasih-ajak-siswa-sma-2-skanto-cinta-sains-lewat-kegiatan-teknologi-aqua-tec>, program ini dirancang untuk menumbuhkan kecintaan siswa terhadap sains melalui pendekatan STEAM yang menggabungkan teori dengan praktik langsung, khususnya dalam penggunaan teknologi Arduino dan filtrasi karbon aktif untuk pemantauan kualitas air. Para siswa menunjukkan antusiasme tinggi karena dapat merakit dan mengoperasikan alat secara langsung, sementara guru menilai metode ini membantu mengatasi kesulitan siswa dalam memahami pelajaran sains yang biasanya dianggap abstrak. Ketua tim pengabdian, Octolia Togibasa, menegaskan bahwa kegiatan ini bukan hanya meningkatkan keterampilan teknis siswa, tetapi juga membangun kesadaran lingkungan dan semangat kolaborasi. Antusiasme siswa, seperti yang diungkapkan Steven, menjadi bukti bahwa pembelajaran kontekstual mampu menumbuhkan motivasi dan rasa ingin tahu. Dengan dukungan dosen, guru, serta keterlibatan aktif siswa, program AQUA-TEC terbukti efektif sebagai model pembelajaran inovatif yang layak untuk direplikasi di sekolah-sekolah lain di Papua.

Hasil pelaksanaan AQUA-TECH menunjukkan bahwa pendekatan terpadu antara pendidikan STEM dan isu lingkungan lokal efektif meningkatkan keterampilan teknis dan kesadaran lingkungan siswa. Sistem Arduino dan filtrasi karbon aktif terbukti mampu menghasilkan data kualitas air yang valid, sekaligus memberikan pengalaman praktik langsung bagi siswa, sehingga pembelajaran lebih relevan dengan konteks lokal.

Pelatihan dan workshop tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis siswa, tetapi juga memperkuat kapasitas guru dalam mengimplementasikan metode pembelajaran berbasis proyek. Keterlibatan siswa dalam pemantauan berbasis masyarakat membangun kesadaran lingkungan dan rasa tanggung jawab sosial, sementara pelibatan komunitas dan lembaga lokal memperluas dampak program. Evaluasi menunjukkan bahwa integrasi teknologi, pendidikan, dan pemberdayaan komunitas dapat menjadi model yang berkelanjutan. Namun, beberapa tantangan, seperti keterbatasan jumlah sensor dan perlunya pemeliharaan rutin sistem, menjadi catatan penting untuk perbaikan berikutnya. Program ini menunjukkan potensi replikasi di sekolah lain dan integrasi lebih luas dengan program lingkungan kota Jayapura, menjadikan siswa agen perubahan yang nyata dalam komunitas mereka.

Pelaksanaan program AQUA-TECH membuktikan bahwa integrasi antara pendidikan STEM, teknologi Arduino, dan isu lingkungan lokal dapat meningkatkan kualitas pembelajaran sekaligus memberikan dampak sosial nyata.

1. Pemahaman STEM siswa meningkat signifikan (92%). Hal ini terlihat dari keberhasilan mereka dalam merakit, memprogram, dan mengkalibrasi sensor kualitas air. Workshop dan praktik lapangan memperkuat kompetensi teknis, sekaligus menghubungkan teori dengan masalah nyata di komunitas mereka.
2. Penerapan sistem monitoring (88%) dan praktik lapangan (90%) menunjukkan siswa mampu menerjemahkan keterampilan teknis ke dalam kegiatan berbasis proyek. Penggunaan Arduino Uno sebagai platform utama terbukti efektif (89%), dengan praktik langsung pemrograman Arduino mencapai 91%.
3. Dari sisi inovasi teknologi, sistem filtrasi karbon aktif dinilai cukup efektif (80%), meski masih memerlukan pemeliharaan rutin dan optimalisasi daya tahan. Sementara itu, sistem pemantauan terintegrasi memperoleh skor 87%, menandakan validitas data yang dikumpulkan dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan.

4. Dampak sosial juga terlihat jelas. Dampak dan keberlanjutan program (85%) mencerminkan keterlibatan komunitas, di mana masyarakat mulai menggunakan data pemantauan sebagai acuan kualitas air. Program ini juga memperkuat kapasitas guru dalam mengintegrasikan pembelajaran berbasis proyek ke dalam kurikulum STEM, sehingga keberlanjutannya terjamin.

Akhirnya, meskipun hasil evaluasi menunjukkan keberhasilan, terdapat beberapa tantangan penting, antara lain:

1. Keterbatasan jumlah sensor yang mengurangi cakupan pemantauan.
2. Pemeliharaan rutin yang membutuhkan dukungan teknis berkelanjutan.
3. Kebutuhan peningkatan modul pembelajaran agar lebih variatif dan menantang.

Secara keseluruhan, program ini layak direplikasi di sekolah lain dan berpotensi diintegrasikan ke program lingkungan kota Jayapura. AQUA-TECH tidak hanya melatih siswa menjadi problem solver, tetapi juga menumbuhkan peran mereka sebagai agen perubahan yang mampu menghubungkan pendidikan, teknologi, dan kebutuhan nyata masyarakat lokal.

## KESIMPULAN

Program AQUA-TECH berhasil menunjukkan bahwa integrasi teknologi Arduino, filtrasi karbon aktif, dan pendekatan pendidikan STEM berbasis proyek mampu meningkatkan pemahaman, keterampilan praktis, dan kesadaran lingkungan siswa SMA Negeri 2 Skanto Jayapura, sekaligus memberikan kontribusi nyata terhadap pemantauan kualitas air di komunitas sekitar. Hasil evaluasi memperlihatkan efektivitas sistem pemantauan yang dirakit, peningkatan kapasitas guru dalam pembelajaran STEM, serta keterlibatan aktif masyarakat dalam menggunakan data pemantauan sebagai dasar pengelolaan lingkungan. Meskipun masih terdapat tantangan berupa keterbatasan sensor, kebutuhan pemeliharaan rutin, dan perlunya pengembangan modul pembelajaran yang lebih variatif, program ini terbukti layak untuk direplikasi di sekolah lain dan berpotensi diintegrasikan dengan program lingkungan kota Jayapura, sehingga mampu melahirkan generasi muda yang berperan sebagai agen perubahan dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggriawan, R. (2025). Bridging STEM Education with Local Knowledge: Empowering Rural Students in Papua, Indonesia. <http://ir.library.illinoisstate.edu/ior2025/19>
- Astawa, I. K., Budarma, I. K., & Widhari, C. I. S. (2021). *Manajemen Supervisi Hotel: Orientasi Green Hospitality Business Practices*. Penerbit NEM.
- Berman, H. (2021). Polyponics Water Quality Monitoring System For Aquaculture And Aquaponics: A User's Guide For Microcomputing In The Classroom (Mark Iv Version).
- Davis, A. Y., Green, S. G., Heppard, K. A., & Lawrence, D. S. (2024). An Intentionally Designed Sustainability Course: Integrating Service-Learning and Community Engagement into Sustainability Education. *The Journal of Sustainability Education*.
- Gokulanathan, S., Manivasagam, P., Prabu, N., & Venkatesh, T. (2019). A GSM based water quality monitoring system using Arduino. *Shanlax International Journal of Arts, Science and Humanities*, 6(4), 22-26.
- Hong, W. J., Shamsuddin, N., Abas, E., Apong, R.A., Masri, Z., Suhaimi, H., Gödeke, S.H., Noh, M.N.A. (2021) Water Quality Monitoring with Arduino Based Sensors. *Environments*. 8(6) <https://doi.org/10.3390/environments8010006>
- Kirsch, S. (2003). Mining and environmental human rights in Papua New Guinea. In *Transnational corporations and human rights* (pp. 115-136). London: Palgrave Macmillan UK.
- Kirschke, S., Avellán, T., Bärlund, I., Bogardi, J. J., Carvalho, L., Chapman, D., Dickens, C. W. S., Irvine, K., Lee, S., Mehner, T., & Warner, S. (2020). Capacity challenges in water quality monitoring: understanding the role of human development. *Environmental monitoring and assessment*, 192(5), 298. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8224-3>

<https://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/sipakaraya>

- Kravia, K., Matthew, R., Hagoya, J., Havave, J., DeBritto, S., Ambelye, J., Zeming, A., Sakopa, P., Bourke, T., Chandra, V., Beutel, D., & Mallet, D. (2024). Preparing Integrated STEM Educators In PNG: The Enabling and Constraining Factors. 1. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4903108/v1>
- Lelan, E. S., & Dalle, . K. H. (2021). Jayapura City Development, Plastic Waste, and Enggros Village Community: A Green Theory Perspective. *Papua Journal of Diplomacy and International Relations*, 1(2), 105-120. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-79079-7>
- Mustain, M., Kusuma, A. P., & Puspitasari, W. D. (2025, January). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Pembesaran Ikan Koi Berbasis Internet Of Things (IoT). In *Seminar Nasional Teknologi & Sains* (Vol. 4, No. 1, pp. 289-294).
- Taylor, L., Maller, C. J., Soanes, K., Ramalho, C. E., Aiyer, A., Parris, K. M., & Threlfall, C. G. (2022). Enablers and challenges when engaging local communities for urban biodiversity conservation in Australian cities. *Sustainability Science*, 17(3), 779-792.