

Penguatan Literasi Sains Siswa SMP Citra Kasih melalui Eksperimen Elektronika: Visualisasi Gelombang Listrik dan 3D Printing

Annamaintin Kobong Lebang*, Fredrik Manuhutu, Andwi Wulansari, Marchleon Hanoatubun
Program Studi Rekayasa Instrumentasi dan Otomasi, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Pattimura, Indonesia

*Corresponding Author: annamaintinlebang@gmail.com
Dikirim: 26-03-2026; Direvisi: 12-04-2026; Diterima: 13-04-2026

Abstrak: Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan pemahaman siswa SMP terhadap konsep dasar teknologi elektronika dengan pendekatan pembelajaran berbasis pengalaman nyata dan visualisasi langsung. Urgensi pengabdian ini terletak pada kebutuhan untuk meningkatkan literasi STEM siswa di sekolah-sekolah dengan fasilitas terbatas, seperti SMP Citra Kasih Ambon. Program Teknologi Elektronika yang dilaksanakan terdiri atas dua aktivitas utama: visualisasi gelombang listrik menggunakan osiloskop dan pengenalan teknologi pencetakan tiga dimensi (3D printing). Metode pelaksanaan meliputi demonstrasi alat, praktik langsung, diskusi interaktif, dan evaluasi menggunakan pretest dan posttest. Teknik sampling yang digunakan adalah *simple random sampling*, dimana 25 siswa dari kelas VII hingga IX dipilih secara acak untuk mengikuti kegiatan ini. Instrumen evaluasi berupa sepuluh soal yang mengukur pemahaman konsep elektronika, fungsi osiloskop, karakteristik gelombang AC dan DC, serta prinsip kerja printer 3D. Hasil pretest menunjukkan tingkat pemahaman awal siswa yang terbatas dengan rata-rata jawaban benar sebesar 53,6%, sedangkan posttest menunjukkan peningkatan menjadi 77,2%, yang mencerminkan peningkatan pemahaman sebesar 23,6%. Selain itu, siswa menunjukkan keterlibatan aktif dan respons positif sepanjang kegiatan. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis eksperimen dan visualisasi efektif dalam meningkatkan pemahaman, motivasi, dan literasi STEM siswa SMP. Program ini direkomendasikan untuk diterapkan secara berkelanjutan melalui kolaborasi antara perguruan tinggi dan sekolah.

Kata Kunci: Elektronika; Osiloskop; 3D printing; Siswa; STEM.

Abstract: This community service activity aims to address the limited understanding of basic electronics concepts among junior high school students by implementing an experiential learning approach and direct visualization. The urgency of this community service lies in the need to enhance STEM literacy among students in schools with limited facilities, such as Citra Kasih Ambon Junior High School. The program consists of two main activities: visualizing electrical waves using an oscilloscope and introducing 3D printing technology. The implementation method includes tool demonstrations, hands-on practice, interactive discussions, and evaluation through pretests and posttests. The sampling technique employed is simple random sampling, with 25 students from grades VII to IX randomly selected to participate. The evaluation instrument consists of ten questions assessing understanding of basic electronics concepts, oscilloscope functions, characteristics of AC and DC waves, and the principles of 3D printing. Pretest results revealed a limited initial understanding, with an average correct response rate of 53.6%. After participating in the activities, the posttest results increased to 77.2%, reflecting a 23.6% improvement in understanding. Additionally, students demonstrated active engagement and positive responses throughout the activity. These findings suggest that hands-on learning and visualization are effective in improving conceptual understanding, motivation, and STEM literacy among junior high school students. This

program is recommended for sustained implementation through collaboration between higher education institutions and schools.

Keywords: Electronics; Oscilloscope; 3D printing; Students; STEM.

PENDAHULUAN

Perkembangan Revolusi Industri 4.0 menuntut peserta didik memiliki literasi dalam bidang *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) sejak jenjang pendidikan menengah pertama. Literasi STEM tidak hanya mencakup penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan kolaborasi yang menjadi keterampilan penting di abad ke-21. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran STEM berbasis inkuiri dan proyek mampu meningkatkan minat siswa terhadap STEM serta mendukung pengembangan keterampilan tersebut secara lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional berbasis ceramah (Arifin et al., 2025; Ribeirinha et al., 2024).

Pengalaman laboratorium merupakan elemen penting dalam pembelajaran sains modern karena memungkinkan siswa untuk mengaitkan konsep abstrak dengan fenomena nyata. Dalam konteks pembelajaran elektronika, eksperimen menggunakan rangkaian listrik dan alat ukur seperti osiloskop terbukti meningkatkan pemahaman konseptual, kemampuan analitis, serta minat belajar siswa. Pembelajaran berbasis praktikum dan workshop elektronika memberikan pengalaman yang lebih bermakna dibandingkan pembelajaran teoritis semata, khususnya dalam memahami karakteristik gelombang listrik dan fungsi komponen elektronika dasar (Tokatlidis et al., 2024).

Selain eksperimen elektronika, perkembangan teknologi fabrikasi digital menghadirkan peluang pembelajaran STEM yang lebih kontekstual melalui pemanfaatan printer 3D. Berbagai studi melaporkan bahwa integrasi 3D printing dalam pembelajaran mampu membantu siswa memvisualisasikan konsep yang kompleks, mengembangkan kemampuan berpikir spasial, serta meningkatkan kreativitas dan sikap positif terhadap STEM. Teknologi ini juga mendukung pembelajaran lintas disiplin yang mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, dan desain dalam satu pengalaman belajar yang utuh (Anđić et al., 2024; Huang & Wang, 2022; Radiopoulou et al., 2025)

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan efektivitas pembelajaran STEM berbasis praktik dan teknologi, implementasinya di sekolah masih menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan fasilitas laboratorium. Di banyak sekolah menengah pertama, termasuk di Kota Ambon, pembelajaran IPA masih didominasi pendekatan teoritis karena minimnya ketersediaan alat praktik seperti osiloskop dan printer 3D. Akibatnya, siswa jarang memperoleh pengalaman pengamatan langsung terhadap gelombang listrik maupun proses manufaktur digital, sehingga pemahaman konsep dan minat terhadap STEM belum berkembang secara optimal (Khefrianti et al., 2024; Sopapradit & Wannapiroon, 2022)

Tujuan dari pengabdian ini adalah untuk meningkatkan literasi sains siswa SMP Citra Kasih Ambon melalui pendekatan praktis yang menggabungkan eksperimen elektronika, visualisasi gelombang listrik, dan penggunaan teknologi 3D printing dalam pembelajaran. Urgensi pengabdian ini terletak pada kebutuhan untuk memperkuat pemahaman siswa terhadap konsep-konsep dasar fisika yang sering dianggap abstrak, seperti gelombang listrik dan hubungan antar komponen elektronika, yang sulit dipahami hanya melalui teori tanpa pengalaman langsung.



Selain itu, keterbatasan fasilitas laboratorium di sekolah-sekolah dengan akses terbatas pada teknologi. Kesenjangan antara potensi pembelajaran STEM berbasis eksperimen dan teknologi digital dengan praktik nyata di sekolah, terutama di wilayah Indonesia bagian timur, masih cukup besar. Penggunaan teknologi 3D printing membantu siswa melihat model fisik dan memahami teori dengan lebih mudah. Keunikan pengabdian ini terletak pada penerapan teknologi terbaru di tingkat SMP. Siswa juga diberi kesempatan untuk merancang dan membuat model elektronik sederhana, berbeda dengan pengabdian sebelumnya yang hanya menggunakan teori atau alat peraga konvensional.

METODE PELAKSANAAN KEGIATAN

Pendekatan dan Rancangan Kegiatan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini dirancang menggunakan kombinasi pendekatan *experiential learning*, *hands-on learning*, dan *guided inquiry* untuk memastikan siswa memperoleh pengalaman belajar yang konkret dan bermakna. Pendekatan *experiential learning* digunakan untuk memberikan kesempatan kepada siswa mengalami langsung proses pengamatan gelombang listrik dan melihat cara kerja printer 3D. Rancangan kegiatan disusun dalam bentuk pengenalan Teknologi Elektronika yang mengintegrasikan dua topik utama, yaitu eksperimen elektronika dan teknologi fabrikasi digital. Eksperimen elektronika difokuskan pada visualisasi gelombang listrik arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC) menggunakan osiloskop (Halliday & Resnick, 2015; Kurriawan & Sundaygara, 2018), sedangkan teknologi fabrikasi digital difokuskan pada pengenalan proses desain dan pencetakan objek menggunakan printer 3D. Kedua topik tersebut dirancang saling melengkapi untuk memperkuat literasi sains dan STEM siswa melalui pendekatan lintas disiplin.

Pendekatan *hands-on learning* memungkinkan siswa memahami keberadaan listrik, mengamati bentuk gelombang secara real time, serta berinteraksi dengan objek hasil cetak 3D (Chen & Cheng, 2021). Pendekatan *guided inquiry* diterapkan melalui sesi tanya jawab dan diskusi terarah yang mendorong siswa menyusun pemahaman berdasarkan pengamatan mereka sendiri. Seluruh pendekatan tersebut dirancang dalam satu alur kegiatan terstruktur yang meliputi *pretest*, demonstrasi, praktik terbimbing, diskusi, dan *posttest*, sehingga memungkinkan evaluasi yang komprehensif terhadap peningkatan pemahaman siswa. Instrumen evaluasi berupa tes tertulis sebanyak 10 nomor yang mencakup konsep dasar elektronika, fungsi osiloskop, karakteristik gelombang listrik, serta prinsip kerja printer 3D.

Tahap Pelaksanaan Kegiatan

Pelaksanaan kegiatan dimulai dengan koordinasi awal bersama pihak sekolah untuk menentukan jumlah peserta, jadwal, serta kesiapan sarana dan prasarana. Tahap pertama berupa pemberian *pretest* berupa 10 nomor soal untuk mengukur tingkat pengetahuan awal siswa mengenai elektronika dasar dan teknologi 3D printing. *Pretest* diberikan kepada 25 siswa yang berasal dari kelas VII hingga IX dan terdiri atas sepuluh soal pilihan ganda yang mencakup konsep dasar elektronika dan teknologi terkait. Selanjutnya, kegiatan inti dilaksanakan melalui dua sesi utama.

Sesi pertama berfokus pada pengenalan keberadaan listrik dalam kehidupan sehari-hari, komponen elektronika dasar secara singkat dan demonstrasi osiloskop. Tim pelaksana merakit rangkaian listrik sederhana di hadapan siswa sambil



menjelaskan kepada siswa komponen - komponen yang digunakan untuk menampilkan bentuk gelombang AC dan DC pada layar osiloskop. Siswa diarahkan untuk memindahkan probe dari osiloskop dan mengamati perbedaan bentuk gelombang. Siswa juga diarahkan untuk mengamati perubahan karakteristik bentuk gelombang setelah melewati komponen tertentu, sehingga memperoleh pemahaman visual dan kontekstual terhadap konsep yang dipelajari.

Sesi kedua berfokus pada pengenalan teknologi 3D printing. Pada sesi ini, siswa diperkenalkan pada alur kerja pencetakan tiga dimensi, mulai dari pembuatan desain objek sederhana menggunakan perangkat lunak desain hingga proses pencetakan objek menggunakan printer 3D dengan bahan filament PLA (*Polylactic Acid*) (Sopapradit & Wannapiroon, 2022). Siswa mengamati secara langsung proses pencetakan dan berdiskusi mengenai fungsi, bahan, serta potensi pemanfaatan teknologi 3D printing dalam berbagai bidang.

Pada setiap sesi dilakukan diskusi interaktif dan refleksi untuk memberikan kesempatan kepada siswa mengajukan pertanyaan dan mengaitkan materi dengan pengalaman sehari-hari. Kegiatan kemudian diakhiri dengan pemberian *posttest* menggunakan instrumen yang setara dengan *pretest* untuk mengukur peningkatan pemahaman siswa setelah mengikuti kegiatan. Data hasil *pretest* dan *posttest* selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk menilai efektivitas kegiatan pengabdian.

IMPLEMENTASI KEGIATAN DAN PEMBAHASAN

Implementasi kegiatan PkM dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Otomasi Universitas Pattimura selama satu hari dengan melibatkan total 100 siswa dari kelas VII, VIII, dan IX SMP Citra Kasih Ambon. Selama kegiatan berlangsung, siswa dibagi ke dalam kelompok kecil agar setiap kelompok memperoleh kesempatan memadai dalam mengamati alat dan melakukan interaksi langsung.

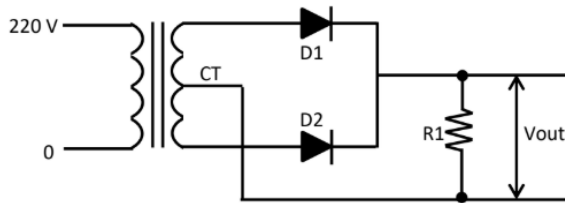
Setiap kelas terdiri dari 20 orang siswa dengan rincian jadwal pada Tabel 1. Pendekatan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah *experiential learning* dan *hands-on learning*, yang terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan siswa melalui pengalaman langsung (Herianto, Ikhsan, J., & Purwastuti, 2024). Pada sesi yang pertama, dilakukan pengenalan listrik dan komponen dasar elektronika dan osiloskop secara sederhana pada siswa. Selain itu, rangkaian listrik sederhana menggunakan komponen resistor, dioda dan transformator dirakit untuk mendukung tampilan gelombang pada layar osiloskop.

Tabel 1. Susunan kegiatan kunjungan Lab

No	Alokasi Waktu (WIT)	Kelas / Kegiatan
1	07:30 – 08:30	Siswa tiba di fakultas / registrasi di titik kumpul
2	08:31 – 09:00	Persiapan
3	09:00 – 09:15	Pembukaan
4	09:15 – 10:15	Kelas VII B kunjungan ke Lab RIO
5	10:15 – 11:15	Kelas VII A kunjungan ke Lab RIO
6	11:15 – 12:15	Kelas IX kunjungan ke Lab RIO
7	12:15 – 13:00	Istirahat di titik kumpul
8	13:00 – 14:00	Kelas VIII B kunjungan ke Lab RIO
9	14:00 – 15:00	Kelas VIII A kunjungan ke Lab RIO
10	15:00 – 15:30	Kembali ke titik kumpul
11	15:30 – 16:00	Penutupan



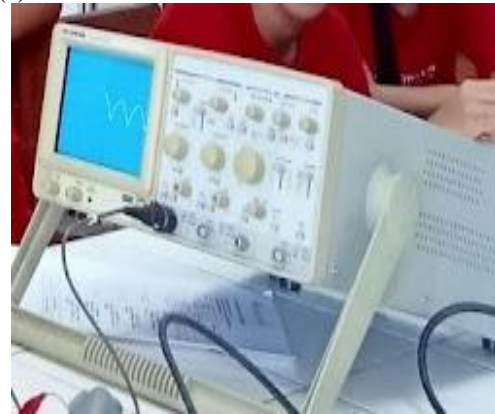
Siswa diberi pemahaman secara teori terkait pembelajaran fisika dan kesempatan untuk memasang komponen maupun elektroda osiloskop pada dioda untuk memahami bentuk gelombang listrik arus bolak balik (AC) dan arus searah (DC) pada layar osiloskop. Siswa diberi pemahaman singkat tentang kesesuaian rangkaian dan skema seperti pada Gambar 1(a). Pada awal kegiatan, sebagian besar siswa belum mengenal fungsi maupun cara kerja osiloskop. Namun, setelah diberikan penjelasan dasar dan demonstrasi, siswa mulai memahami peran osiloskop sebagai alat untuk menampilkan dan menganalisis bentuk gelombang listrik. Melalui pengamatan langsung, siswa mampu membedakan gelombang AC yang berbentuk sinusoidal dengan gelombang DC hasil penyearahan (*full-wave*), serta memahami secara umum fungsi komponen elektronika dalam mengubah karakteristik arus listrik (Halliday & Resnick, 2015; Kurriawan & Sundaygara, 2018). Tampilan bentuk gelombang AC dan DC hasil pembelajaran sesi pertama diilustrasikan pada Gambar 1(b) dan Gambar 1(c) secara berturut-turut.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1. Dokumentasi implementasi dari (a) skema rangkaian; (b) tampilan bentuk gelombang AC pada osiloskop; (c) tampilan bentuk gelombang DC pada osiloskop; (d) desain 3D printing

Antusiasme siswa tampak dari diskusi interaktif yang diajukan terkait manfaat mempelajari elektronika dan kemungkinan penerapan osiloskop dalam percobaan sederhana di lingkungan sekolah. Interaksi yang terjadi selama demonstrasi menunjukkan bahwa pendekatan *hands-on* efektif meningkatkan rasa ingin tahu dan pemahaman intuitif siswa terhadap fenomena listrik yang sebelumnya hanya mereka pahami secara teoritis. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis praktikum dapat meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan analitis siswa secara signifikan (Herianto et al., 2025; Tejera et al., 2025). Selain itu, pendekatan visual juga terbukti memperkuat pemahaman konsep karena siswa dapat menghubungkan teori dengan representasi nyata. Penggunaan osiloskop sebagai media visual memungkinkan siswa memahami karakteristik gelombang listrik secara langsung, sehingga memperkuat pemahaman konseptual mereka terhadap materi elektronika. Hal ini didukung oleh penelitian (Nehru et al., 2024; Tokatlidis et al., 2024) yang menyatakan bahwa kombinasi laboratorium fisik dan visualisasi digital dapat meningkatkan pemahaman dan keterampilan siswa dalam bidang elektronika.

Pada sesi kedua yaitu 3D printing, siswa diperkenalkan dengan teknologi 3D printing sebagai bagian dari pembelajaran berbasis teknologi. Sesi pengenalan teknologi 3D printing menjadi salah satu bagian yang paling menarik bagi siswa SMP Citra Kasih Ambon. Pada tahap ini, tim pelaksana memperkenalkan konsep dasar pencetakan tiga dimensi, mulai dari proses perancangan objek menggunakan perangkat lunak desain hingga tahapan pencetakan objek secara fisik. Antusiasme siswa meningkat ketika printer mulai bekerja membentuk objek secara bertahap. Siswa mengamati proses dari desain hingga hasil akhir menggunakan filament PLA. Bentuk desain dari sesi 3D printing ditampilkan pada Gambar 1(d).

Selama proses pencetakan berlangsung, siswa secara aktif mengamati tahapan demi tahapan pembentukan objek, termasuk proses pemanasan filament, pergerakan nozzle, serta waktu pencetakan yang dibutuhkan. Interaksi yang terjadi menunjukkan tingginya antusiasme siswa, yang ditandai dengan berbagai pertanyaan seperti alasan charger ponsel tidak menyebabkan sengatan listrik, potensi printer 3D untuk membuat mainan plastik, serta proses penyaluran listrik dari pembangkit ke rumah tangga, bahan cetak, suhu kerja printer, dan ketahanan hasil cetakan. Aktivitas ini memberikan pemahaman tentang konsep additive manufacturing, dimana objek dibangun secara bertahap dari lapisan ke lapisan. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi 3D printing dalam pembelajaran dapat meningkatkan kemampuan berpikir spasial, kreativitas, dan pemahaman konsep yang kompleks (Huang & Wang, 2022; Rehman et al., 2025). Selain itu, teknologi ini juga mampu meningkatkan motivasi belajar siswa karena memberikan pengalaman belajar yang kontekstual dan menarik.

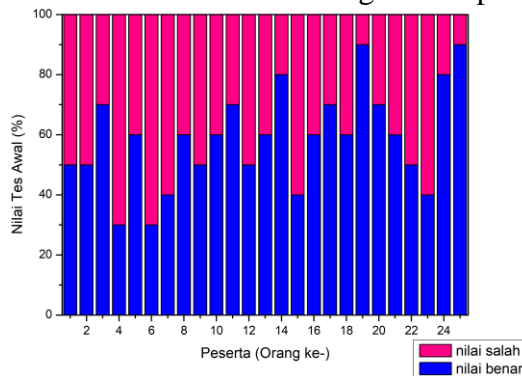
Sesi diskusi dan tanya jawab (Gambar 2) selama kegiatan menjadi bagian penting dalam menguatkan pemahaman siswa. Berbagai pertanyaan yang diajukan siswa, seperti alasan charger ponsel tidak menyebabkan sengatan listrik, potensi printer 3D untuk membuat mainan plastik, serta proses penyaluran listrik dari pembangkit ke rumah tangga, menunjukkan berkembangnya rasa ingin tahu ilmiah (*scientific curiosity*) dan kemampuan berpikir sebab-akibat. Pembelajaran berbasis eksperimen dan diskusi terbuka mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses belajar. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Ribeirinha et al., 2024) dan (Ji et al., 2024) yang menyatakan bahwa pembelajaran STEM berbasis aktivitas dapat meningkatkan minat dan partisipasi siswa secara signifikan.



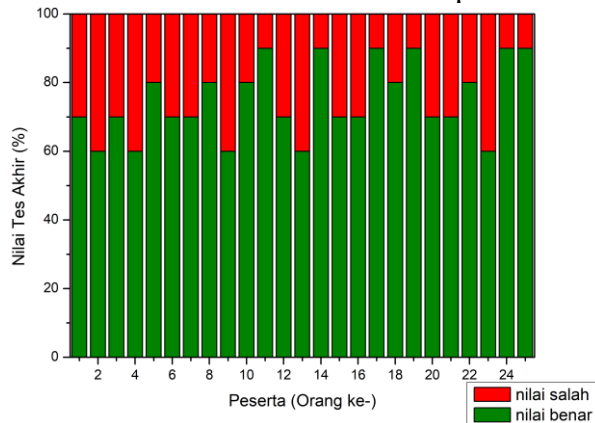
Evaluasi dilakukan melalui pretest dan posttest terhadap 25 siswa yang dipilih sebagai sampel. Instrumen evaluasi terdiri atas 10 soal dengan indikator meliputi konsep dasar elektronika, fungsi osiloskop, bentuk gelombang listrik AC dan DC, dan prinsip kerja 3D printing. Hasil pretest, post-test dan evaluasi ditampilkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Tabel 2 secara berturut-turut.



Gambar 2. Dokumentasi kegiatan tiap sesi



Gambar 3. Hasil Pre-test terhadap 25 siswa



Gambar 4. Hasil posttest terhadap 25 siswa

Visualisasi hasil pada Gambar 3 dan Gambar 4 menampilkan peningkatan yang konsisten di hampir seluruh peserta. Tidak ada peserta yang mengalami penurunan nilai, menunjukkan keberhasilan metode interaktif dan eksperimental dalam transfer konsep teknologi. Hasil ini juga didukung dengan perbandingan kuantitatif pada Tabel 2. Hasil pretest di Tabel 2 menunjukkan bahwa pemahaman awal siswa terhadap konsep elektronika dan teknologi 3D printing masih relatif rendah. Rata-rata persentase jawaban benar hanya mencapai 53,6%, sedangkan jawaban salah sebesar 46,4%. Setelah mengikuti rangkaian kegiatan demonstrasi, praktik langsung, dan diskusi interaktif, hasil posttest menunjukkan peningkatan yang signifikan. Rata-rata persentase jawaban benar meningkat menjadi 77,2%, dengan penurunan jawaban salah menjadi 22,8%.

Tabel 2. Hasil penilaian tes awal dan tes akhir

Jenis Tes	Nilai Benar (%)	Nilai Salah (%)
Tes Awal (Pretest)	53,6	46,4
Tes Akhir (Posttest)	77,2	22,8

Tabel 2 menunjukkan adanya peningkatan pemahaman siswa sebesar 23,6%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa metode pembelajaran berbasis pengalaman langsung efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep yang bersifat abstrak. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis laboratorium dapat meningkatkan hasil belajar dan pemahaman konseptual siswa secara signifikan (Tokatlidis et al., 2024)

Kegiatan ini juga memberikan dampak afektif berupa peningkatan motivasi belajar siswa. Lebih dari 90% siswa menunjukkan respons positif terhadap kegiatan ini, terutama pada sesi praktik dan visualisasi. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi dan eksperimen mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik dan bermakna. Temuan ini memperkuat hasil penelitian (Radiopoulou et al., 2025) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis teknologi seperti 3D printing dapat meningkatkan motivasi dan sikap positif siswa terhadap STEM. Secara keseluruhan, hasil ini menguatkan bahwa integrasi demonstrasi alat, praktik langsung, dan diskusi reflektif dapat menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan literasi STEM pada siswa SMP. Pendekatan ini juga berpotensi untuk diterapkan secara berkelanjutan melalui kolaborasi antara perguruan tinggi dan sekolah dalam rangka memperkuat pembelajaran sains berbasis konteks dan teknologi.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan melalui eksperimen elektronika dengan visualisasi gelombang listrik menggunakan osiloskop dan pengenalan teknologi 3D printing efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa SMP Citra Kasih Ambon. Pendekatan experiential learning dan hands-on learning membantu siswa memahami konsep abstrak melalui pengalaman langsung dan visualisasi. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan hasil belajar dari 53,6% pada pretest menjadi 77,2% pada posttest (peningkatan 23,6%). Selain itu, siswa menunjukkan keterlibatan aktif dan respons positif selama kegiatan berlangsung. Dengan demikian, integrasi eksperimen dan teknologi dapat menjadi alternatif pembelajaran yang efektif untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik,



serta layak diterapkan secara berkelanjutan dalam penguatan pendidikan STEM di tingkat SMP.

DAFTAR PUSTAKA

- Andić, B., Lavicza, Z., Ulbrich, E., Cvjetičanin, S., Petrović, F., & Maričić, M. (2024). Contribution of 3D modelling and printing to learning in primary schools: a case study with visually impaired students from an inclusive Biology classroom. *Journal of Biological Education*, 58(4), 795–811. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2118352>
- Arifin, Z., Sukarmin, Saputro, S., & Kamari, A. (2025). The effect of inquiry-based learning on students' critical thinking skills in science education: A systematic review and meta-analysis. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(3). <https://doi.org/10.29333/ejmste/15988>
- Chen, J., & Cheng, L. (2021). The influence of 3D printing on the education of primary and secondary school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1976(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1976/1/012072>
- Halliday, & Resnick. (2015). *Fundamental of Physics 10th Edition*. In Wiley (Vol. 1).
- Herianto, Ikhsan, J., & Purwastuti, L. A. (2024). Developing student 21st-century skills through STEM engineering design learning cycle (STEM-EDEL CY) model. *The Journal of Educational Research*, 117(3), 137–150. <https://doi.org/10.1080/00220671.2024.2346659>
- Herianto Herianto, Hayatining Suci Abdilah, Tresna Galih Sukma Suryana, Yuvita Oktarisa, Yudi Guntara, Yayat Ruhiat, Yus Rama Denny M, B. L. (2025). Implementation of the STEAM-5E learning cycle model to improve critical thinking skills and describe collaboration skills in elementary school students. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Fisika*, 11(2). <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.62870/gravity.v11i2.36751>
- Huang, C. Y., & Wang, J. C. (2022). Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model course. *Computers and Education*, 187(May), 104553. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104553>
- Ji, Q., Zhang, R., Duan, X., Tripp, J. N., Liu, X., & Cheng, C. (2024). Using hands-on learning video assignments in online and in-person contexts: A longitudinal study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(7). <https://doi.org/10.29333/ejmste/14706>
- Khefrianti, S., Kadarohman, A., Wiji, & Praginda, W. (2024). Advantages and Disadvantages of Using 3D Printing by Science Teachers. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(8), 559–565. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i8.6518>
- Kurriawan, B. P., & Sundaygara, C. (2018). *Buku Ajar Mata Kuliah Eletronika 1*.
- Nehru, Purwaningsih, S., Riantoni, C., & Novallyan, D. (2024). Energizing Education : Fostering Interactive Engagement in Basic Electronics through STEM-Project Based Learning. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 16(1), 630–



639. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v16i1.4364>

- Radiopoulou, D., Kantaros, A., Ganetsos, T., & Zacharia, P. (2025). 3D Printing as a Multimodal STEM Learning Technology: A Survey Study in Second Chance Schools. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/mti9090087>
- Rehman, N., Huang, X., Mahmood, A., Zafeer, H. M. I., & Mohammad, N. K. (2025). Emerging trends and effective strategies in STEM teacher professional development: A systematic review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1–23. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04272-y>
- Ribeirinha, T., Baptista, M., & Correia, M. (2024). Investigating the Impact of STEM Inquiry-Based Learning Activities on Secondary School Student's STEM Career Interests: A Gender-Based Analysis Using the Social Cognitive Career Framework. *Education Sciences*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/educsci14101037>
- Sopapradit, S., & Wannapiroon, P. (2022). A STEAM Learning with Digital Fabrication Laboratory on Cloud Computing Model to Enhance Creative Product. *International Education Studies*, 15(3), 150. <https://doi.org/10.5539/ies.v15n3p150>
- Tejera, M., Galiç, S., & Lavicza, Z. (2025). 3D Modelling and Printing in Teacher Education: A Systematic Literature Review. In *Journal for STEM Education Research* (Vol. 9, Issue 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s41979-025-00147-2>
- Tokatlidis, C., Tselegkaridis, S., Rapti, S., Sapounidis, T., & Papakostas, D. (2024). Hands-On and Virtual Laboratories in Electronic Circuits Learning—Knowledge and Skills Acquisition. *Information (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/info15110672>

