

## Implementasi Praktikum Biologi Berbasis Teknologi untuk Meningkatkan Kompetensi Sains Siswa dan Guru SMAN 15 Padang

### *Implementation of Technology-Based Biology Practicum to Enhance the Competencies of Students and Teachers at SMU N 15 Padang*

Rita Maliza<sup>1\*</sup>, Muhammad Idris<sup>1</sup>, Ashrifurrahman<sup>1</sup>, Arthaully Yopita Sinurat<sup>1</sup>, M.Nazri Janra<sup>1</sup>, Nofrita<sup>1</sup>, Muhammad Syukri Fadil<sup>1</sup>, Robby Jannatan<sup>1</sup>, Mansyurdin<sup>1</sup>, Wilson Novarino<sup>1</sup>, Kurniadi Ilham<sup>1</sup>, Putra Santoso<sup>1</sup>, Henny Herwina<sup>1</sup>, Bramadi Arya<sup>2</sup>, Tasya Putri Pratama Elisa<sup>1</sup>, Windi Nofri Yanti<sup>1</sup>, Reziq Marchellino Irwan<sup>1</sup>, Amanda Hafizah<sup>1</sup>, Melati Rahmadani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang.

<sup>2</sup>Program Studi Teknologi Laboratorium Medik, Universitas Syedza Sainika, Padang.

\*e-mail korespondensi: ritamaliza@sci.unand.ac.id

#### **Riwayat Artikel:**

Diterima: 12 April 2026

Revisi: 01 Mei 2026

Disetujui: 12 Mei 2026

Publikasi: 25 Mei 2026

**Hak Cipta:** ©2025 oleh penulis.

**Keywords:** *Biotechnology; Biology practicum; Educational technology*

**Kata kunci:** *Bioteknologi; Praktikum biologi; Teknologi Pendidikan*

**Abstract:** *This community service activity was conducted on October 27, 2025, at SMA Negeri 15 Padang, with the aim of enhancing the competencies of teachers and students in biotechnology through the integration of modern technology as part of the digital transformation of education. The methods employed included direct training and mentoring, supported by a guidebook entitled “Basic Biology and Biotechnology: From Microscope to DNA.” The activity was organized into several thematic groups, namely plant and animal tissue histology, animal anatomy, plant culture, and DNA isolation. The results demonstrated a significant improvement in participants’ abilities to operate basic biotechnology tools, understand applied biotechnology concepts, and develop innovative practicum activities aligned with the Merdeka Curriculum. In addition, this activity strengthened collaboration among schools, universities, and media in disseminating science learning innovations. In conclusion, the implementation of technology-based biology practicum is effective in improving participants’ competencies and scientific literacy and has strong potential for sustainable development through continued mentoring and the development of digital modules.*

**Abstrak:** Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan pada 27 Oktober 2025 di SMA Negeri 15 Padang sebagai respons terhadap masih terbatasnya implementasi praktikum biologi berbasis teknologi modern di sekolah, baik dari aspek fasilitas, keterampilan teknis, maupun pemanfaatan media pembelajaran digital. Metode yang digunakan meliputi pelatihan langsung dan pendampingan (*mentoring*), yang didukung oleh buku panduan “Biologi dan Bioteknologi Dasar: Dari Mikroskop hingga DNA”. Kegiatan dibagi ke dalam beberapa kelompok tematik, yaitu histologi jaringan tumbuhan dan hewan, anatomi hewan, kultur tumbuhan, dan isolasi DNA. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam kemampuan peserta dalam mengoperasikan alat bioteknologi dasar, memahami konsep bioteknologi terapan, serta mengembangkan inovasi praktikum yang selaras dengan Kurikulum Merdeka. Selain itu, kegiatan ini memperkuat kolaborasi

antara sekolah, perguruan tinggi, dan media dalam diseminasi inovasi pembelajaran. Kesimpulannya, implementasi praktikum biologi berbasis teknologi efektif dalam meningkatkan kompetensi dan literasi sains peserta, serta berpotensi untuk dikembangkan secara berkelanjutan melalui pendampingan lanjutan dan pengembangan modul digital.

## 1. PENDAHULUAN

Pendidikan biologi di tingkat sekolah menengah atas (SMA) memiliki peran strategis dalam membentuk literasi sains, keterampilan berpikir kritis, serta kesiapan peserta didik menghadapi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Dalam konteks transformasi digital pendidikan, pembelajaran biologi dituntut tidak hanya berorientasi pada teori, tetapi juga pada praktik langsung melalui integrasi teknologi modern, khususnya dalam bidang bioteknologi. Praktikum biologi menjadi komponen penting karena memungkinkan siswa memahami konsep secara aplikatif dan kontekstual. Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa pelaksanaan praktikum di sekolah masih menghadapi kendala, seperti keterbatasan fasilitas laboratorium, minimnya alat modern, serta rendahnya kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran (Permata et al., 2024; Subrata et al., 2023; Riyanto et al., 2023; Rahmah et al., 2021).

SMA Negeri 15 Padang merupakan salah satu sekolah menengah atas negeri di Kota Padang yang telah terakreditasi A dan memiliki fasilitas pendukung pembelajaran yang relatif lengkap, termasuk laboratorium IPA. Meskipun demikian, pelaksanaan praktikum biologi di sekolah ini masih belum optimal. Keterbatasan pembelajaran praktikum masih cenderung bersifat konvensional dan belum sepenuhnya memanfaatkan teknologi, sehingga kurang memberikan pengalaman belajar yang interaktif dan aplikatif bagi siswa. Permasalahan lain yang

diidentifikasi adalah rendahnya kompetensi guru dalam mengoperasikan alat bioteknologi dan menyusun modul praktikum berbasis teknologi. Kondisi ini berdampak pada terbatasnya inovasi dalam pembelajaran serta kurangnya keterlibatan aktif siswa dalam kegiatan praktikum (P2K STEKOM, 2025; zekolah ide, 2025).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas praktikum biologi, seperti penggunaan laboratorium virtual, pengembangan modul berbasis teknologi, serta pelatihan guru dalam pembelajaran berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan simulasi digital dan praktikum berbasis teknologi dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan praktis siswa secara signifikan. Selain itu, integrasi bahan lokal dalam pembelajaran juga terbukti mampu meningkatkan relevansi dan kontekstualitas pembelajaran biologi. Namun, implementasi pendekatan tersebut masih terbatas dan belum terintegrasi secara sistematis di tingkat sekolah (Sholekhah et al., 2025; Triastuti, 2021; Zebua, 2025 dan Disma, 2024).

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan solusi yang komprehensif melalui kegiatan pengabdian masyarakat yang mengintegrasikan pelatihan praktikum berbasis teknologi, pendampingan guru dan siswa. Solusi yang ditawarkan meliputi: (1) pelatihan penggunaan alat bioteknologi sederhana dan digital, termasuk mikroskop digital (2) pengembangan dan implementasi modul praktikum berbasis teknologi serta (3)

pendampingan guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran.

Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi siswa dan guru SMA Negeri 15 Padang dalam bidang biologi dan bioteknologi melalui implementasi praktikum berbasis teknologi. Selain itu, kegiatan ini diharapkan dapat meningkatkan literasi sains, mendorong pembelajaran yang interaktif dan kontekstual, serta memperkuat kolaborasi antara perguruan tinggi dan sekolah. Secara lebih luas, program ini diharapkan menjadi model pembelajaran adaptif berbasis teknologi yang dapat direplikasi di sekolah lain serta mendukung pengembangan sumber daya manusia yang berdaya saing di era digital.

## **2. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **2.1 Desain Kegiatan**

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan dengan pendekatan partisipatif dan berbasis praktik (*hands-on training*) yang bertujuan untuk meningkatkan kompetensi guru dan siswa dalam bidang bioteknologi. Mitra sasaran kegiatan adalah SMA Negeri 15 Padang, dengan peserta terdiri atas guru biologi serta siswa kelas XI dan XII program IPA yang dipilih sebagai perwakilan berdasarkan minat dan keterlibatan dalam kegiatan praktikum sains di sekolah. Kegiatan melibatkan sekitar 60 siswa dan 6 guru pendamping, sehingga tidak mencakup seluruh siswa di SMA tersebut, tetapi difokuskan pada beberapa kelas sebagai peserta sampel agar proses pelatihan dan pendampingan dapat berjalan lebih efektif dan intensif.

Kegiatan ini dilaksanakan pada tanggal 27 Oktober 2025 di SMA Negeri 15 Padang dalam bentuk satu kali pertemuan intensif, yang didahului oleh tahap persiapan dan diikuti dengan evaluasi pasca kegiatan. Pendekatan ini

dipilih untuk memastikan transfer pengetahuan dan keterampilan dapat berlangsung secara langsung, aplikatif, dan kontekstual sesuai dengan kebutuhan mitra.

### **2.2 Tahap Persiapan**

Tahap persiapan dilakukan melalui identifikasi kebutuhan mitra yang diperoleh dari diskusi dengan pihak sekolah, khususnya terkait keterbatasan fasilitas laboratorium dan rendahnya integrasi teknologi dalam praktikum biologi. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, tim pengabdian menyusun modul praktikum berbasis teknologi dalam bentuk buku ber-ISBN berjudul "Biologi dan Bioteknologi Dasar: Dari Mikroskop hingga DNA". Modul ini dirancang sebagai panduan praktikum yang sederhana, aplikatif, dan dapat digunakan secara mandiri oleh guru dalam pembelajaran. Selain itu, dilakukan juga persiapan alat dan bahan praktikum yang disesuaikan dengan kondisi laboratorium sekolah serta memanfaatkan bahan-bahan lokal yang mudah diperoleh.

### **2.3 Tahap Pelaksanaan**

Tahap pelaksanaan dilakukan dalam satu hari kegiatan secara intensif dengan melibatkan guru dan siswa sebagai peserta utama. Peserta dibagi ke dalam beberapa kelompok tematik, yaitu histologi jaringan tumbuhan dan hewan, anatomi hewan, kultur tumbuhan, serta isolasi DNA dari buah. Setiap kelompok mendapatkan pelatihan penggunaan mikroskop digital dan pembacaan sediaan preparat histologi jaringan hewan dan tumbuhan, teknik pembuatan kultur jaringan tumbuhan, mempelajari organ dengan menggunakan hewan coba laboratorium, serta praktik langsung isolasi DNA dengan metode yang disederhanakan agar dapat diterapkan di lingkungan sekolah. Kegiatan dilaksanakan secara interaktif dengan pendekatan *learning by doing*, sehingga peserta tidak hanya menerima

materi secara teoritis, tetapi juga terlibat langsung dalam proses praktikum. Pada saat yang sama, guru juga diberikan pendampingan dalam penggunaan modul praktikum sebagai panduan pembelajaran serta strategi integrasi teknologi digital dalam kegiatan praktikum biologi.

#### **2.4 Evaluasi Kegiatan**

Evaluasi kegiatan dilakukan secara langsung selama dan setelah pelaksanaan praktikum melalui observasi partisipatif terhadap keterampilan dan pemahaman peserta. Penilaian difokuskan pada kemampuan siswa dan guru dalam mengikuti tahapan praktikum, mengoperasikan alat dasar bioteknologi, memahami prosedur kerja, serta menjelaskan kembali konsep-konsep bioteknologi yang telah dipraktikkan. Tingkat partisipasi, antusiasme, dan keterlibatan peserta selama kegiatan berlangsung juga menjadi bagian dari indikator evaluasi.

Hasil observasi dianalisis secara deskriptif kualitatif berdasarkan catatan tim pelaksana, diskusi, dan refleksi bersama peserta setelah kegiatan selesai dilaksanakan. Keberhasilan program ditunjukkan melalui meningkatnya kemampuan peserta dalam melakukan praktikum secara mandiri, memahami konsep dasar bioteknologi terapan, serta kemampuan guru dalam memanfaatkan modul praktikum sebagai media pendukung pembelajaran di sekolah.

#### **2.5 Keberlanjutan Program**

Keberlanjutan program didukung melalui penyediaan modul praktikum ber-ISBN yang telah diserahkan kepada pihak sekolah untuk digunakan secara mandiri dalam pembelajaran. Selain itu, kegiatan ini juga memperkuat kolaborasi antara Universitas Andalas dan SMA Negeri 15 Padang dalam pengembangan pembelajaran biologi berbasis

teknologi, sehingga diharapkan dapat terus berkembang dan diimplementasikan secara berkelanjutan di masa mendatang.

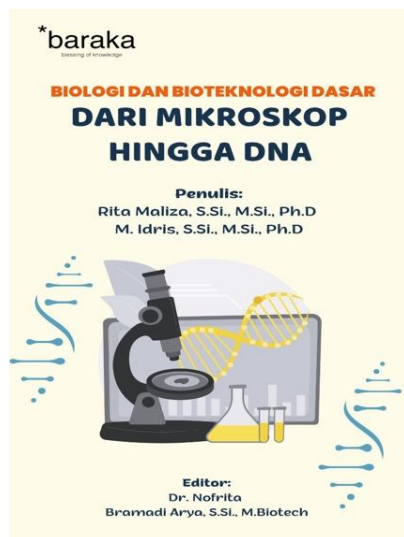
### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kegiatan pengabdian masyarakat di SMA Negeri 15 Padang dilaksanakan sebagai respon terhadap kesenjangan antara ketersediaan fasilitas pendidikan yang relatif memadai dengan rendahnya optimalisasi praktikum biologi berbasis teknologi. Meskipun sekolah telah memiliki laboratorium dan akses internet yang baik, implementasi praktikum bioteknologi masih terbatas akibat kurangnya alat dan kompetensi guru dalam integrasi teknologi. Kondisi ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa keterbatasan sarana dan kapasitas SDM menjadi faktor utama rendahnya kualitas praktikum biologi di tingkat sekolah menengah (Rahmah et al., 2021).

Pelaksanaan kegiatan pada tanggal 27 Oktober 2025 dilakukan melalui pendekatan pelatihan intensif dan praktik langsung yang melibatkan guru dan siswa. Peserta dibagi ke dalam empat kelompok tematik, yaitu histologi jaringan tumbuhan dan hewan, anatomi hewan, kultur tumbuhan, dan isolasi DNA dari buah. Setiap kelompok mendapatkan pengalaman langsung dalam penggunaan mikroskop digital, pembacaan sediaan preparat histologi jaringan hewan dan tumbuhan, teknik pembuatan kultur jaringan tumbuhan, mempelajari organ dengan menggunakan hewan coba laboratorium, serta prosedur isolasi DNA sederhana. Pendekatan *learning by doing* terbukti meningkatkan keterlibatan peserta secara signifikan, yang terlihat dari partisipasi aktif selama kegiatan berlangsung serta kemampuan peserta dalam mengikuti setiap tahapan praktikum secara mandiri.

Salah satu luaran utama kegiatan ini adalah pengembangan dan implementasi modul praktikum berbasis teknologi dalam bentuk buku ber-ISBN berjudul “Biologi dan Bioteknologi Dasar: Dari Mikroskop hingga DNA”. Modul ini

tidak hanya berfungsi sebagai panduan praktikum, tetapi juga sebagai instrumen transfer pengetahuan yang berkelanjutan bagi guru.



DAFTAR ISI	
DAFTAR ISI .....	i
DAFTAR GAMBAR .....	iii
DAFTAR TABEL .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
<b>BAB 1. Alat dan Teknik Dasar Laboratorium Biologi</b> .....	1
1.1 Pengenalan Laboratorium Biologi.....	1
1.2 Alat-alat dasar dan fungsinya .....	3
1.3 Keselamatan kerja di laboratorium .....	11
1.4 Tata Tertib di Laboratorium.....	11
1.5 Hal yang Harus Diperhatikan di Laboratorium.....	13
1.6 Pertolongan Pertama pada Kecelakaan di Laboratorium.....	13
<b>BAB 2. Mengenal Dunia Mikroskopis: Keterampilan Menggunakan Mikroskop Cahaya</b> .....	15
2.1 Bagian Mikroskop Cahaya dan Fungsinya .....	15
2.2 Sumber Cahaya .....	18
2.3 Prinsip Kerja Mikroskop Cahaya.....	19
2.4 Pentingnya Mikroskop dalam Biologi.....	19
2.5 Tujuan Praktikum .....	19
2.6 Keterampilan yang Diharapkan.....	20
2.7 Alat dan Bahan .....	20
2.8 Langkah Praktikum .....	21
2.9 Penutup.....	23
2.10 Pertanyaan Diskusi.....	23
Daftar Pustaka.....	24
<b>BAB 3. Mengenal Hewan Coba Tikus dan Anatomi Organ Dasarnya</b> .....	25
3.1 Hewan Coba dalam Bioteknologi.....	25
3.2 Etika Penggunaan Hewan.....	27
3.3 Anatomi Tikus.....	28
3.4 Tujuan Pembelajaran.....	31
3.5 Alat dan Bahan.....	31
3.6 Langkah Praktikum.....	32
3.7 Keselamatan Kerja.....	36
3.8 Pertanyaan Diskusi.....	36
Daftar Pustaka.....	37
<b>BAB 4. Kultur Jaringan Tumbuhan Sederhana</b> .....	38
4.1 Fitohormon Dalam Kultur Jaringan Tumbuhan.....	41
4.2 Tahapan Kerja Kultur Jaringan Tumbuhan.....	41
4.3 Pembuatan Media Tanam Dan Sterilisasi.....	42
4.4 Penyediaan Eksplan Bahan Tumbuhan Dan Sterilisasi.....	44
4.5 Tahapan Propagasi In Vitro (Mikropropagasi).....	45
4.6 Tujuan.....	50
4.7 Alat dan Bahan.....	50
4.8 Langkah Kerja.....	51
4.9 Pertanyaan Diskusi.....	61
Daftar Pustaka.....	62
<b>BAB 5. Microgreen, Bermain dengan Cahaya Dalam Pengayaan Metabolit Pada Kecambah Sayuran</b> .....	64
5.1 Tujuan.....	69
5.2 Alat dan Bahan.....	69
5.3 Langkah Kerja.....	70
5.4 Pertanyaan Diskusi.....	73
Daftar Pustaka.....	74
<b>BAB 6. Isolasi DNA Sederhana</b> .....	76
6.1 Tujuan.....	78
6.2 Alat dan Bahan.....	79
6.3 Tahapan Kerja.....	79
6.4 Tabel Hasil Pengamatan .....	82
6.5 Pertanyaan Diskusi.....	82
Daftar Pustaka.....	83
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	84

Gambar 1. Buku Modul Praktikum (ISBN: 978-634-7036-77-3)

Selain itu, kegiatan ini juga menghasilkan dokumentasi pelaksanaan yang menunjukkan keterlibatan aktif peserta dalam kegiatan praktikum.



Gambar 2. Dokumentasi kegiatan pengabdian di SMA Negeri 15 Padang

Indikator keberhasilan kegiatan dapat dilihat dari beberapa aspek. Pertama, terjadi peningkatan keterampilan praktikum, yang ditunjukkan dengan kemampuan siswa dan guru dalam melakukan isolasi DNA, menggunakan mikroskop digital, serta membaca sediaan preparate histologi jaringan hewan dan tumbuhan. Kedua, terjadi peningkatan pemahaman konsep bioteknologi terapan, yang terlihat dari kemampuan peserta dalam menjelaskan kembali prinsip-prinsip dasar praktikum yang telah dilakukan. Ketiga, peningkatan kompetensi guru dalam penggunaan modul praktikum sebagai panduan pembelajaran, yang menjadi indikator penting keberlanjutan program. Keempat, meningkatnya partisipasi dan interaksi selama kegiatan, yang

menunjukkan adanya perubahan sikap positif terhadap pembelajaran berbasis praktik dan teknologi.

Keunggulan utama kegiatan ini terletak pada integrasi antara teknologi sederhana, bahan lokal, dan modul praktikum yang aplikatif. Pendekatan ini memungkinkan praktikum bioteknologi dapat dilaksanakan meskipun dengan keterbatasan fasilitas, sehingga relevan dengan kondisi sekolah. Selain itu, penggunaan modul ber-ISBN memberikan nilai tambah dalam aspek keberlanjutan dan diseminasi pengetahuan. Namun demikian, terdapat beberapa kelemahan, antara lain keterbatasan waktu pelaksanaan yang hanya dilakukan dalam satu kali pertemuan, sehingga belum memungkinkan evaluasi jangka panjang

terhadap dampak pembelajaran. Selain itu, keterbatasan alat di sekolah masih menjadi kendala dalam replikasi praktikum secara rutin.

Tingkat kesulitan pelaksanaan kegiatan tergolong sedang, terutama pada tahap pengenalan teknik bioteknologi seperti penggunaan mikroskop digital bagi peserta yang belum memiliki pengalaman sebelumnya. Namun, dengan pendekatan pendampingan langsung dan penggunaan metode sederhana, kendala tersebut dapat diatasi dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi praktikum bioteknologi dasar tetap memungkinkan dilakukan di sekolah dengan sumber daya terbatas.

Peluang pengembangan kegiatan ini ke depan sangat terbuka, terutama dalam pengembangan modul digital interaktif, integrasi laboratorium virtual, serta perluasan materi praktikum berbasis bioteknologi. Selain itu, model kegiatan ini berpotensi direplikasi di sekolah lain dengan kondisi serupa, sehingga dapat berkontribusi dalam peningkatan kualitas pendidikan biologi secara lebih luas. Kolaborasi

antara perguruan tinggi dan sekolah juga menjadi faktor kunci dalam mendukung keberlanjutan dan pengembangan program ini.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini berhasil mencapai tujuan dalam meningkatkan kompetensi siswa dan guru melalui praktikum biologi berbasis teknologi, serta memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan pembelajaran sains yang lebih aplikatif, interaktif, dan kontekstual.

#### 4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian ini berhasil meningkatkan kompetensi guru dan siswa dalam praktikum biologi berbasis teknologi, terutama dalam penggunaan alat sederhana dan pemahaman konsep bioteknologi. Modul praktikum yang dikembangkan terbukti efektif sebagai panduan pembelajaran. Ke depan, diperlukan pendampingan lanjutan dan pengembangan modul digital agar implementasi dapat berkelanjutan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Tim pengabdian mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Andalas atas pendanaan kegiatan ini melalui kontrak nomor 238/UN16.03.D/XI/KPT/2025, serta kepada SMA Negeri 15 Padang atas dukungan dan kerja sama yang diberikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Disma, D. R. I. (2024). Integrasi teknologi dalam pendidikan di sekolah menengah atas (SMA) untuk peningkatan literasi. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan*

(SNP) 2024, FKIP Universitas Tanjungpura.

P2K STEKOM. (2025). SMA Negeri 15 Padang. Diakses dari <https://p2k.stekom.ac.id>

Permata Sari, A., & Munir. (2024). Pemanfaatan teknologi digital dalam inovasi pembelajaran untuk meningkatkan efektivitas kegiatan di kelas. *Teknologi Transformasi Digital (Digitech)*, 4(2). <https://doi.org/10.47709/digitech.v4i2.5127>

Rahmah, N., Iswadi, Asiah, Hasanuddin, & Syafrianti, D. (2021). Analisis kendala praktikum biologi di sekolah menengah atas. *BIODIK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 7(2), 169–178.

- <https://doi.org/10.22437/bio.v7i2.1277>  
7
- Riyanto, A., Susanti, R., & Bramastia. (2023). Hambatan dan solusi pelaksanaan praktikum IPA (studi kasus di SMP Negeri 3 Purwantoro Kabupaten Wonogiri). Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS).
- Sholekhah, E. F., & Febriyanto, H. (2025). Pengembangan virtual lab pemuaian zat untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan proses sains peserta didik. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*, 5(2), 221–237. <https://doi.org/10.21154/jtii.v5i2.4618>
- Subrata, I. M. (2023). Pembelajaran biologi berbasis lingkungan dalam upaya peningkatan literasi sains dan pelestarian kearifan lokal masyarakat Bali. *Prosiding Seminar Nasional Biologi dan Pendidikan Biologi (SEMBIO)*, 2.
- Triastuti, E. (2021). Pembelajaran berbasis STEM materi elektroplating meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis siswa. *Jurnal Ilmiah WUNY*, 3(2). <https://doi.org/10.21831/jwuny.v3i2.38660>
- Zebua, N. (2025). Integrasi teknologi digital dalam pembelajaran biologi: analisis kualitatif terhadap pemahaman konseptual dan keterampilan abad 21. *Edukasi Elita: Jurnal Inovasi Pendidikan*, 2(2), 52–64. <https://doi.org/10.62383/edukasi.v2i2.1306>
- Zekolah.id. (2025). Data sekolah SMAN 15 Padang. Diakses dari <https://data-sekolah.zekolah.id>