

# Peningkatan Kompetensi Praktikum Biologi Melalui Pelatihan Penggunaan Mikroskop Bagi Siswa SMA Ciwaru

Ina Setiawati<sup>a\*</sup>, Rahma Widiyantia<sup>a</sup>, Handayani<sup>a</sup>, Anna Fitri Hindriana<sup>a</sup>, Tanzilal Aditami<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universitas Kuningan, Jl. Cut Nyak Dien No 36 A, Kuningan, 45513, Indonesia

## Abstrak

Keterbatasan fasilitas laboratorium Biologi dan rendahnya keterampilan penggunaan mikroskop menjadi permasalahan utama dalam pembelajaran biologi di SMA Ciwaru. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan kompetensi praktikum biologi siswa melalui pelatihan penggunaan mikroskop yang sistematis dan aplikatif. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif-kolaboratif melalui empat tahapan: sosialisasi, pelatihan, pendampingan, dan evaluasi. Peserta kegiatan adalah 30 siswa kelas XI dan 1 guru biologi SMAN Ciwaru. Pelatihan mencakup pengenalan bagian mikroskop, teknik pengamatan dan pengaturan fokus, pembuatan preparat, serta mini project observasi mikroskopik. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada keterampilan siswa: kemampuan mengatur fokus meningkat dari 17% menjadi 87%, dan kemampuan membuat preparat meningkat dari 20% menjadi 83%. Evaluasi melalui kuesioner menunjukkan 93% siswa menyatakan pelatihan sangat bermanfaat, 87% merasa lebih termotivasi, dan 90% mengalami peningkatan pemahaman konsep biologi. Program ini juga menghasilkan modul pelatihan sebagai luaran berkelanjutan. Pelatihan terbukti efektif meningkatkan kompetensi praktikum biologi siswa dan memperkuat budaya pembelajaran sains berbasis praktik di sekolah mitra, selaras dengan SDGs tujuan 4 tentang pendidikan berkualitas.

*Keywords:* pelatihan mikroskop, kompetensi praktikum, pembelajaran biologi, keterampilan saintifik, pengabdian masyarakat.

## 1. Pendahuluan

SMA Ciwaru merupakan salah satu sekolah menengah atas di Kecamatan Ciwaru, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat. Sekolah ini berada di wilayah perbukitan dengan keterbatasan akses terhadap fasilitas laboratorium sains yang memadai. Berdasarkan hasil observasi awal dan wawancara dengan guru mata pelajaran Biologi (Wawancara, 2024), diketahui bahwa praktik pembelajaran sains, khususnya pada aspek mikroskopis, masih minim. Hal ini disebabkan oleh kurangnya jumlah mikroskop yang tersedia, serta belum adanya pelatihan intensif mengenai keterampilan teknis penggunaan mikroskop bagi siswa maupun guru.

Keterbatasan ini berdampak pada rendahnya keterampilan saintifik siswa, yang merupakan bagian penting dalam kompetensi abad ke-21 (Trilling & Fadel, 2009). Banyak siswa belum mampu menggunakan mikroskop secara tepat, seperti mengatur fokus, mengenali bagian-bagian mikroskop, dan membuat preparat sederhana. Padahal, keterampilan tersebut krusial untuk mendukung pemahaman konsep biologi berbasis pengamatan langsung (Bybee, 2010). Selain itu, pembelajaran sains yang hanya bersifat teoretis tidak cukup untuk menumbuhkan pemahaman konseptual dan minat terhadap sains (OECD, 2019). Meski demikian, potensi siswa cukup besar. Berdasarkan hasil observasi, siswa memiliki antusiasme tinggi dalam mengikuti kegiatan sains, seperti lomba KIR dan olimpiade tingkat kabupaten. Potensi ini menjadi modal penting dalam meningkatkan keterampilan laboratorium siswa melalui intervensi pelatihan yang tepat sasaran dan kontekstual.

Sebagai lembaga pendidikan non-produktif, SMA Ciwaru berfokus pada pengembangan sumber daya manusia usia sekolah. Namun, dari sisi sarana dan prasarana, laboratorium Biologi sekolah ini tergolong terbatas. Mikroskop yang tersedia hanya tersedia mikroskop monokuler sederhana, yang sudah digunakan lebih dari 7 tahun, dan mengalami penurunan fungsi optik. Tidak tersedia mikroskop digital atau alat bantu visualisasi lain seperti kamera mikroskop atau preparat awetan. Kegiatan praktikum hanya dilakukan 2–3 kali dalam satu semester dan bersifat demonstratif, bukan eksperimental (Guru Biologi, Wawancara, 2024). Dari sisi SDM, guru Biologi memiliki latar belakang S1 Pendidikan Biologi, namun belum pernah mengikuti pelatihan keterampilan laboratorium berbasis mikroskop dalam 5 tahun terakhir ini. Sementara itu, mayoritas siswa berasal dari keluarga petani atau buruh harian, dengan keterbatasan akses

<sup>1</sup> Corresponding author:  
E-mail address: xxxx@xxxxxx.edu

terhadap sumber belajar tambahan seperti bimbingan belajar atau laboratorium privat (BPS, 2023). Oleh karena itu, sekolah merupakan satu-satunya ruang aktualisasi potensi saintifik siswa.

Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk meningkatkan kompetensi praktikum Biologi siswa SMA Ciwaru melalui pelatihan keterampilan penggunaan mikroskop yang sistematis, aplikatif, dan kontekstual. Pelatihan ini mencakup pengenalan bagian-bagian mikroskop, teknik penggunaan dan perawatan, pembuatan preparat, hingga penerapan keterampilan dalam mini project berbasis observasi mikroskopis. Tujuan tersebut berkaitan erat dengan beberapa agenda strategis nasional dan global, yaitu: 1) SDGs (Sustainable Development Goals): mendukung Tujuan 4, yaitu “Menjamin pendidikan yang inklusif dan berkualitas serta mendukung kesempatan belajar sepanjang hayat untuk semua” (UN General Assembly (UNGA), 2015). 2) IKU Perguruan Tinggi: IKU 3 (Dosen berkegiatan di luar kampus), melalui keterlibatan aktif mahasiswa dan dosen dalam pemberdayaan sekolah. 3) Asta Cita: mendukung cita ke-5 yaitu “Meningkatkan kualitas hidup manusia Indonesia”, melalui peningkatan mutu pembelajaran sains di tingkat menengah (Pipit Mulyah et al, 2020). 4) RIRN (Rencana Induk Riset Nasional): selaras dengan Bidang Fokus Pendidikan dan Kebudayaan, khususnya dalam pengembangan metode pembelajaran sains berbasis praktik dan teknologi (RISTEKBRIN, 2017).

## **2. Metode / Methods**

Metode pelaksanaan program ini dirancang dengan pendekatan partisipatif-kolaboratif, yang menempatkan mitra sebagai subjek aktif dalam pelaksanaan, bukan sekadar penerima manfaat. Kegiatan dilakukan dalam lima tahap utama: sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan-evaluasi, dan keberlanjutan program (OECD, 2019). Setiap tahapan dirancang untuk menyelesaikan dua permasalahan utama mitra, yaitu rendahnya keterampilan penggunaan mikroskop dan terbatasnya fasilitas praktikum biologi. Adapun tahapan Kegiatan dari pengabdian masyarakat ini meliputi;

### *2.1. Sosialisasi Program*

Tahapan awal adalah sosialisasi program kepada mitra (SMA Ciwaru), dilakukan melalui pertemuan formal dengan kepala sekolah, guru Biologi, dan perwakilan siswa. Kegiatan ini bertujuan untuk menyampaikan tujuan, tahapan, dan luaran program, mengidentifikasi kesiapan teknis dan logistic serta menyepakati jadwal pelaksanaan bersama mitra. Kegiatan Sosialisasi meliputi; penandatanganan MoU kemitraan, penyampaian rencana pelatihan, diskusi teknis mengenai jumlah peserta, waktu, dan lokasi kegiatan.

### *2.2. Pelatihan*

Pelatihan merupakan inti dari program ini, dilakukan untuk meningkatkan keterampilan siswa dan guru dalam penggunaan mikroskop serta teknik praktikum biologi. Pelatihan dilaksanakan selama 3 sesi (untuk siswa) dan 1 sesi khusus untuk guru. Metode pelatihan dilakukan diantaranya; hands-on practice, demonstrasi, simulasi, diskusi kelompok kecil serta presentasi hasil. Rencana materi pelatihan yang diberikan diantaranya; pengenalan bagian dan fungsi mikroskop, teknik dasar pengamatan dan pengaturan focus, pembuatan preparat basah dan kering, studi kasus mini-proyek observasi mikroskopik.

### *2.3. Pendampingan dan Evaluasi*

Setelah pelatihan, dilakukan pendampingan selama dua minggu untuk memastikan kompetensi siswa dan guru benar-benar berkembang. Kegiatan ini mencakup; monitoring pelaksanaan praktikum oleh guru menggunakan alat baru, pendampingan siswa dalam proyek mini observasi mikroskopis, evaluasi formatif keterampilan siswa menggunakan lembar observasi dan jurnal refleksi. Kegiatan Evaluasi kegiatan dilakukan dengan menggunakan instrument kuesioner umpan balik siswa dan guru.

## **3. Hasil dan Pembahasan**

### *3.1. Pelaksanaan Kegiatan*

Program pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di Laboratorium Biologi FKIP Universitas Kuningan dengan melibatkan 30 siswa kelas XI dan 1 guru mata pelajaran Biologi SMAN Ciwaru. Pelaksanaan kegiatan mengadopsi model kolaboratif antara dosen, mahasiswa, dan guru Biologi melalui lima tahapan sistematis: sosialisasi, pelatihan,

penerapan teknologi, pendampingan, dan evaluasi. Pendekatan kolaboratif dalam pengabdian masyarakat terbukti efektif meningkatkan partisipasi aktif mitra dan keberlanjutan program (Hanafiah et al., 2025).

Tahap sosialisasi menghasilkan kesepakatan teknis pelaksanaan kegiatan serta identifikasi kebutuhan fasilitas laboratorium. Guru Biologi mengidentifikasi keterbatasan jumlah mikroskop sebagai kendala utama dalam pelaksanaan praktikum, sehingga program pelatihan ini menjadi sangat relevan dengan kebutuhan sekolah. Tingginya partisipasi aktif guru dan siswa mengindikasikan kesiapan mitra dalam mengikuti kegiatan, sejalan dengan prinsip pemberdayaan berbasis kebutuhan lokal (Nurtamara et al., 2024).

### 3.2. Pelatihan Penggunaan Mikroskop

Pelatihan dilaksanakan dalam tiga sesi utama untuk siswa dan satu sesi khusus untuk guru dengan materi meliputi: (1) pengenalan bagian-bagian mikroskop dan fungsinya, (2) teknik pengamatan dan pengaturan fokus, (3) pembuatan preparat basah dan kering, serta (4) mini project pengamatan mikroskopis. Pendekatan pelatihan menggunakan metode *hands-on practice* dan demonstrasi langsung, yang merupakan strategi pembelajaran efektif dalam pengembangan keterampilan laboratorium (Awuah & Siemoh, 2024)



Gambar 1. Pemberian materi tentang Mikroskop



Gambar 2. Pengamatan Mikroskopis

Pelaksanaan pelatihan diawali dengan pengenalan komprehensif terhadap bagian-bagian mikroskop dan fungsinya. Seluruh siswa melakukan pengamatan mikroskopis secara berkelompok, dengan setiap siswa memperoleh kesempatan melakukan pengamatan individual mulai dari pembuatan preparat, pengaturan pencahayaan, hingga penentuan pembesaran lensa. Setiap siswa berlatih memfokuskan bayangan menggunakan makrometer dan mikrometer dengan

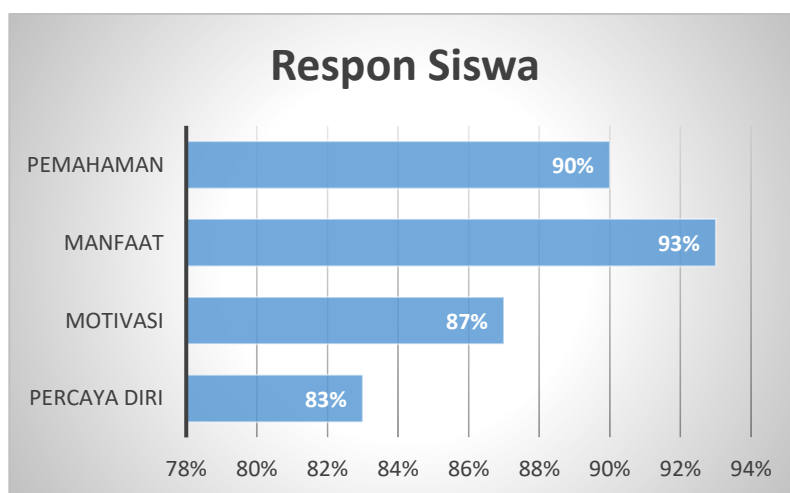
bimbingan intensif dari tim pelaksana. Pembelajaran berbasis praktik langsung ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menekankan pentingnya pengalaman langsung dalam pembentukan pemahaman konseptual. Pendekatan *hands-on learning* dalam praktikum sains terbukti meningkatkan retensi pengetahuan dan keterampilan siswa secara signifikan dibandingkan pembelajaran teoritis semata (Sharma, 2025). Penelitian (Abrahams & Millar, 2008) juga menegaskan bahwa efektivitas kerja praktikum bergantung pada keterlibatan aktif siswa dalam seluruh proses observasi, bukan sekadar mengikuti instruksi prosedural.

Hasil observasi menunjukkan peningkatan signifikan pada keterampilan siswa. Sebelum pelatihan, hanya 17% siswa yang mampu mengatur fokus dan mengenali bagian mikroskop dengan benar. Setelah pelatihan, persentase tersebut meningkat menjadi 87%, menunjukkan peningkatan sebesar 70 poin persentase. Kemampuan membuat preparat sederhana juga mengalami peningkatan substansial dari 20% menjadi 83% (peningkatan 63 poin persentase), berdasarkan lembar observasi keterampilan. Guru Biologi melaporkan bahwa siswa menunjukkan peningkatan kepercayaan diri dan ketelitian saat melakukan pengamatan mikroskopis. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Utami et al., 2024) yang menemukan bahwa pelatihan keterampilan laboratorium berbasis praktik langsung meningkatkan kompetensi siswa dalam menggunakan mikroskop hingga 75%. Lebih lanjut, studi oleh Nuryani et al. (2018) menunjukkan bahwa siswa yang mendapat pelatihan intensif penggunaan mikroskop memiliki skor keterampilan proses sains 82% lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol. Peningkatan kepercayaan diri siswa juga konsisten dengan temuan (Şimşek & Kabapınar, 2010) yang melaporkan bahwa pengalaman praktikum autentik meningkatkan *self-efficacy* siswa dalam pembelajaran sains sebesar 68%, yang berdampak positif pada motivasi dan prestasi akademik.

### 3.3. Pendampingan dan Evaluasi

Pendampingan dilakukan selama dua minggu pascapelatihan untuk memastikan transfer keterampilan berlangsung efektif. Guru Biologi bersama tim pelaksana melakukan monitoring pelaksanaan mini project observasi mikroskopik. Setiap kelompok siswa mengamati objek berbeda, seperti sel tumbuhan, protozoa air, dan sel epitel hewan, kemudian menyusun laporan hasil pengamatan dan mempresentasikannya. Pendekatan *project-based learning* ini efektif mengintegrasikan keterampilan praktikum dengan kemampuan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah (Dewi et al., 2023).

Evaluasi dilakukan melalui triangulasi instrumen, meliputi lembar observasi keterampilan, kuesioner umpan balik, dan jurnal refleksi siswa. Hasil kuesioner menunjukkan respons positif yang tinggi: 93% siswa menyatakan pelatihan sangat bermanfaat, 87% siswa merasa lebih termotivasi melakukan praktikum, 83% siswa mengaku lebih percaya diri menggunakan mikroskop, dan 90% menyatakan mengalami peningkatan pemahaman setelah melakukan pengamatan mikroskopis. Hasil umpan balik siswa disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Umpan Balik Siswa

Data kuantitatif dari kuesioner ini menunjukkan efektivitas program pelatihan dalam meningkatkan aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik siswa secara simultan. Temuan ini konsisten dengan penelitian (Eidesen et al., 2023) yang menemukan bahwa pengalaman praktikum autentik meningkatkan motivasi dan sikap positif siswa terhadap sains.

Selain itu, peningkatan kepercayaan diri siswa sejalan dengan teori *self-efficacy* Bandura (1997) yang menekankan bahwa pengalaman penguasaan (*mastery experience*) merupakan sumber utama pembentukan keyakinan diri.

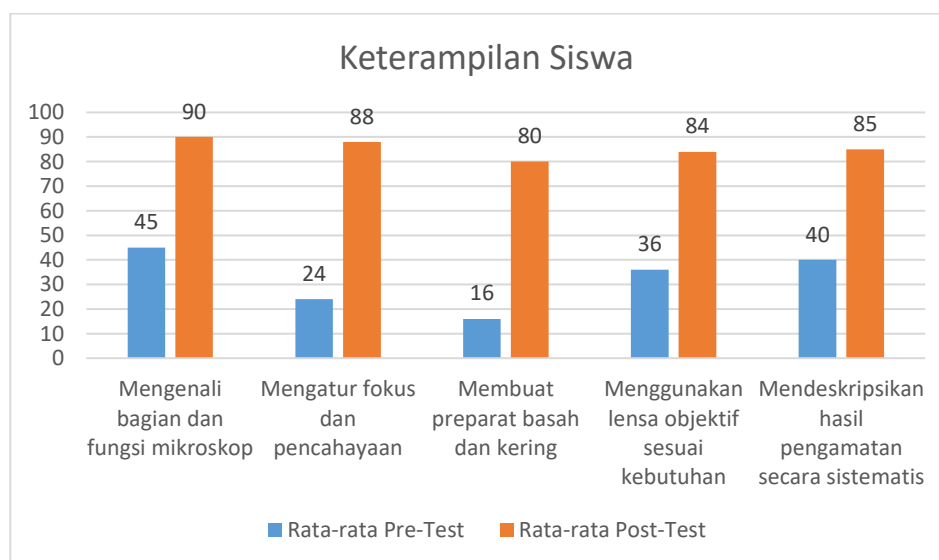
Analisis jurnal refleksi siswa mengidentifikasi tiga tema utama: (1) meningkatnya kepercayaan diri dalam menggunakan alat laboratorium, (2) pemahaman konsep biologi yang lebih mendalam melalui pembelajaran berbasis observasi nyata, dan (3) tumbuhnya minat terhadap bidang sains dan biologi. Ketiga tema ini mengindikasikan bahwa pelatihan tidak hanya berdampak pada dimensi keterampilan teknis, tetapi juga pada pengembangan disposisi ilmiah siswa (Chengere et al., 2025; Pavlova et al., 2021).

### 3.4. Dampak dan Keberlanjutan Program

Program pelatihan ini menghasilkan dampak multidimensional terhadap peningkatan keterampilan saintifik siswa. Siswa menunjukkan peningkatan dalam aspek kemandirian, keterampilan teknis, dan antusiasme terhadap kegiatan praktikum. Mereka juga mulai terbiasa mendokumentasikan hasil pengamatan menggunakan teknologi kamera, yang merupakan bagian dari literasi digital dalam pembelajaran sains abad ke-21 (Fitzgerald & Evans, 2024). Peningkatan kapasitas guru Biologi merupakan dampak signifikan lainnya dari program ini. Guru memperoleh pengalaman baru dalam memanfaatkan teknologi digital dalam pembelajaran biologi dan berkomitmen untuk melanjutkan program pelatihan mikroskop sebagai kegiatan rutin tahunan serta mengembangkan modul mini project observasi mikroskopik di kelas lain. Hal ini sejalan dengan konsep *teacher as facilitator* dalam pembelajaran konstruktivis, di mana guru berperan sebagai fasilitator pembelajaran berbasis inkuiri

Program ini juga menghasilkan luaran berupa modul pelatihan mikroskop yang dapat digunakan sekolah secara berkelanjutan. Keberadaan modul ini menjadi bukti bahwa program tidak hanya menyelesaikan masalah jangka pendek terkait keterampilan mikroskop, tetapi juga memperkuat budaya praktikum biologi berbasis teknologi digital di sekolah mitra. Keberlanjutan program melalui pengembangan modul pembelajaran sejalan dengan prinsip *sustainability* dalam pengabdian Masyarakat.

Untuk mengukur efektivitas pelatihan secara komprehensif, dilakukan pengukuran kemampuan awal (*pre-test*) dan kemampuan akhir (*post-test*) menggunakan lembar observasi keterampilan mikroskopik. Aspek yang diukur meliputi: (1) pengenalan bagian mikroskop, (2) pengaturan fokus dan pencahayaan, (3) pembuatan preparat sederhana, (4) teknik pengamatan, dan (5) ketepatan mendeskripsikan hasil pengamatan. Kelima aspek ini mencerminkan dimensi keterampilan proses sains yang komprehensif (Rustaman et al., 2005). Gambar 4 menggambarkan peningkatan keterampilan penggunaan mikroskop siswa SMA Ciwaru berdasarkan hasil observasi sebelum dan sesudah pelatihan.



Gambar 4. Keterampilan Siswa Menggunakan Mikroskop

Berdasarkan Gambar 2, terlihat peningkatan signifikan pada seluruh aspek keterampilan penggunaan mikroskop. Peningkatan tertinggi terjadi pada aspek pengaturan fokus dan pencahayaan (64%) serta pembuatan preparat sederhana (64%), yang semula menjadi kesulitan utama siswa. Temuan ini menunjukkan bahwa metode pelatihan berbasis praktik langsung (*hands-on learning*) sangat efektif untuk memperkuat pemahaman prosedural dan kompetensi psikomotorik

siswa (Holstermann et al., 2010). Hal ini sejalan dengan taksonomi Bloom yang menempatkan keterampilan aplikasi dan analisis sebagai level kognitif yang lebih tinggi dan memerlukan pengalaman praktis.

Peningkatan keterampilan pada aspek deskripsi hasil pengamatan menunjukkan bahwa siswa tidak hanya mampu menggunakan alat secara prosedural, tetapi juga menghubungkan hasil observasi dengan konsep biologi yang relevan. Kemampuan ini mencerminkan pencapaian literasi sains tingkat tinggi, di mana siswa mampu mengintegrasikan keterampilan observasi dengan pemahaman konseptual (OECD, 2019). Proses ini penting dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan argumentasi ilmiah siswa (Digarbayeva et al., 2024).

Lebih jauh, pelatihan ini menunjukkan dampak sosial-edukatif yang signifikan. Siswa yang awalnya pasif menunjukkan peningkatan aktivitas dalam berdiskusi dan berkolaborasi selama mini project. Keterlibatan aktif mereka dalam membuat preparat dan mendokumentasikan hasil pengamatan menumbuhkan *scientific curiosity* dan sikap ilmiah seperti ketelitian, kejujuran, dan tanggung jawab. Pengembangan sikap ilmiah ini merupakan tujuan fundamental pendidikan sains yang holistik (Hewitt et al., 2019; Pavlova et al., 2021).

Keterlibatan guru dalam sesi khusus pelatihan juga berdampak pada transfer kompetensi yang berkelanjutan. Guru Biologi mampu melanjutkan pembimbingan siswa dalam kegiatan praktikum secara mandiri dengan mikroskop, mengindikasikan terjadinya *capacity building* yang efektif. Peran guru sebagai agen perubahan dalam inovasi pembelajaran menjadi kunci keberlanjutan program. Dengan demikian, program pelatihan ini tidak hanya memberikan dampak langsung pada siswa, tetapi juga menciptakan sistem pembelajaran yang berkelanjutan di sekolah mitra.

#### 4. Kesimpulan

Program pelatihan penggunaan mikroskop bagi siswa SMA Ciwaru terbukti efektif meningkatkan kompetensi praktikum biologi secara komprehensif. Peningkatan signifikan terjadi pada aspek keterampilan teknis, dengan kemampuan mengatur fokus meningkat dari 17% menjadi 87% dan kemampuan membuat preparat meningkat dari 20% menjadi 83%. Metode pelatihan berbasis hands-on practice dan pendampingan intensif berhasil mengembangkan tidak hanya kompetensi psikomotorik, tetapi juga pemahaman konseptual dan sikap ilmiah siswa.

Dampak program mencakup tiga dimensi utama. Pertama, peningkatan literasi sains siswa yang tercermin dari kemampuan menghubungkan hasil observasi dengan konsep biologi. Kedua, pengembangan disposisi ilmiah siswa, termasuk kepercayaan diri (83%), motivasi praktikum (87%), dan *scientific curiosity*. Ketiga, penguatan kapasitas guru dalam memanfaatkan teknologi digital untuk pembelajaran biologi, yang menjamin keberlanjutan program. Integrasi mikroskop digital dan pendekatan partisipatif-kolaboratif memberikan pengalaman belajar yang konkret, interaktif, dan bermakna bagi siswa. Program ini menjadi model nyata kontribusi perguruan tinggi dalam penguatan literasi sains di sekolah menengah, selaras dengan SDGs tujuan 4 tentang pendidikan berkualitas, serta mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21.

Untuk keberlanjutan dan pengembangan lebih lanjut, disarankan beberapa hal. Pertama, perluasan program ke sekolah lain di wilayah terpencil dengan karakteristik serupa. Kedua, integrasi digitalisasi data hasil pengamatan untuk memperkaya dokumentasi pembelajaran. Ketiga, pengembangan model pembelajaran STEM-PjBL (Science, Technology, Engineering, Mathematics - Project Based Learning) yang mengintegrasikan keterampilan mikroskopis dengan pemecahan masalah kontekstual. Keempat, pengembangan komunitas praktisi laboratorium biologi tingkat kabupaten sebagai wadah berbagi praktik baik dan inovasi pembelajaran sains berbasis praktikum.

#### Acknowledgements

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Kuningan atas dukungan pendanaan melalui Hibah Pengabdian Internal Tahun 2025. Dukungan ini sangat membantu dalam pelaksanaan dan penyelesaian kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini.

#### References

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- Awuah, F., & Siemoh, R. K. (2024). *Improving Students' Performance on the Use of the Microscope Through*

- Demonstration Method*. 12(2), 146–153.
- Bybee, R. W. (2010). *The Teaching of Science: 21st-Century Perspectives*.  
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:152459252>
- Chengere, A. M., Bono, B. D., Zinabu, S. A., & Jilo, K. W. (2025). Enhancing secondary school students' science process skills through guided inquiry-based laboratory activities in biology. *PLoS ONE*, 20(4 April), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320692>
- Dewi, N. R., Listiaji, P., Akhlis, I., Kurniawan, I. O., Siswanto, & Widyaningrum, R. A. (2023). Project-based Laboratory Rotation Blended Learning Model to Train Students' Critical Thinking and Collaboration in Physics Course. *E3S Web of Conferences*, 400. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340001023>
- Digarbayeva, A., Kaliyeva, A., Batayeva, D., Bakirova, K., & Koksai, E. A. (2024). Enhancing the Professional Skills of Future Biologists Through Laboratory Training. *Journal of Advanced Academics*, 35(4), 752–771. <https://doi.org/10.1177/1932202X241253448>
- Eidesen, P. B., Bjune, A. E., & Lang, S. I. (2023). “Show me how to use a microscope” – The development and evaluation of certification as direct assessment of practical lab skills. *Ecology and Evolution*, 13(10), 1–14. <https://doi.org/10.1002/ece3.10592>
- Fitzgerald, M. S., & Evans, K. B. (2024). Integrating Digital Tools to Enhance Access to Learning Opportunities in Project-based Science Instruction. *TechTrends*, 68(5), 882–891. <https://doi.org/10.1007/s11528-024-00975-w>
- Hanafiah, H., Sartinayanti, S., Sukmayadi, D., Muhajir, M., & Ekawati, M. (2025). Developing Teaching Skills for Teachers in Remote Areas: Implementing Community Service Programs. *Abdimas Indonesian Journal*, 5(1), 227–234. <https://doi.org/10.59525/aij.v5i1.607>
- Hewitt, K. M., Bouwma-Gearhart, J., Kitada, H., Mason, R., & Kayes, L. J. (2019). Introductory biology in social context: The effects of an issues-based laboratory course on biology student motivation. *CBE Life Sciences Education*, 18(3). <https://doi.org/10.1187/cbe.18-07-0110>
- Holstermann, N., Grube, D., & Bögeholz, S. (2010). Hands-on Activities and Their Influence on Students' Interest. *Research in Science Education*, 40(5), 743–757. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9142-0>
- Nurtamara, L., Amintarti, S., Ajizah, A., Irianti, R., & Widiyastuti, D. A. (2024). Pelatihan Penggunaan Mikroskop Cahaya bagi Mahasiswa Pendidikan Biologi FKIP ULM dengan Menggunakan Preparat Segar. *Kayuh Baimbai : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 01(02), 46–50.
- OECD. (2019). *PISA 2018: WHAT STUDENTS KNOW AND CAN DO: Vol. I*.
- Pavlova, I. V., Remington, D. L., Horton, M., Tomlin, E., Hens, M. D., Chen, D., Willse, J., & Schug, M. D. (2021). An introductory biology research-rich laboratory course shows improvements in students' research skills, confidence, and attitudes. *PLoS ONE*, 16(12 December), 1–27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261278>
- Pipit Muliyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, T. (2020). Ringkasan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2025–2029. *Journal GEEJ*, 7(2).
- Sharma, N. (2025). The Impact of Constructivist Approach on Achievement in Science Education: A Comprehensive Review. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 7(1), 7–9. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i01.36540>
- Şimşek, P., & Kabapınar, F. (2010). The effects of inquiry-based learning on elementary students' conceptual understanding of matter, scientific process skills and science attitudes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 1190–1194. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.170>
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). 21st Century Skills Learning. *Journal of Sustainable Development Education and Research*, 2(1), 243.
- UN General Assembly (UNGA). (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Resolution A/RES/70/1, 25. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Utami, N. H., Putra, A. P., & Riefani, M. K. (2024). How students use microscope during learning biology? *AIP Conference Proceedings*, 3058(1). <https://doi.org/10.1063/5.0202552>