

Peningkatan Pemahaman Guru Biologi SMA Kota Malang tentang Evolusi Mikroba melalui Teknologi CRISPR dan Mekanisme Resistensi Antibiotik

Improving High School Biology Teachers' Understanding of Microbial Evolution through CRISPR Technology and Antibiotic Resistance Mechanisms

Yoga Dwi Jatmiko*^{1*}, Suharjono¹, Tri Ardyati¹, Irfan Mustafa¹

¹ Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

*jatmiko_yd@ub.ac.id

ABSTRAK

Implementasi Kurikulum Merdeka di SMA menuntut guru Biologi untuk menghadapi tantangan baru dalam pengajaran, khususnya topik evolusi mikroba. Mikroba berperan penting sebagai model dalam memahami proses evolusi, termasuk melalui teknologi CRISPR (pengeditan genom). Selain itu, mekanisme resistensi antibiotik juga menjadi contoh nyata evolusi melalui perubahan genetik. Namun, keterbatasan akses informasi dan fasilitas menjadi kendala bagi para guru dalam menyusun modul pembelajaran yang sesuai. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan wawasan dan kompetensi guru Biologi terkait evolusi mikroba, melalui pengenalan teknologi CRISPR dan resistensi antibiotik, baik dalam teori maupun praktik. Pelatihan dimulai dengan survei pra-pelatihan tentang penggunaan antibiotik, penyampaian materi dan dilanjutkan dengan praktik uji sensitivitas antibiotik. Evaluasi dalam bentuk *pretest* dan *posttest* juga diberikan kepada peserta yang dikategorikan dalam skala pemahaman: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Peserta pelatihan memiliki pengalaman yang cukup dalam penggunaan antibiotik sebelum pelatihan, namun pemahaman mereka terkait antibiotik masih bervariasi. Hasil *pretest* diperoleh pemahaman 8,3% sangat rendah, 20,8% rendah, 33,3% sedang, 33,3% tinggi, dan 4,2% sangat tinggi. Hasil *posttest* menunjukkan perbedaan yang signifikan, yaitu hanya ada dua kategori saja, kategori tinggi 38,1% dan sangat tinggi 61,9%. Hasil ini menunjukkan bahwa pemahaman peserta telah meningkat sebesar 28,4% dengan rata-rata nilai *pretest* 62 dan *posttest* 87. Selain itu, peserta juga mampu melakukan uji sensitivitas antibiotik beserta cara interpretasi datanya. Respon peserta sangat positif, dengan nilai indeks kepuasan antara 94-97 yang tergolong sangat baik. Teori dan praktik yang diperoleh diharapkan dapat meningkatkan inovasi guru dalam pembelajaran bagi siswa untuk memahami evolusi mikroba.

Kata kunci — CRISPR, evolusi mikroba, resistensi antibiotik, kurikulum Merdeka

ABSTRACT

The implementation of Merdeka Curriculum in high school requires Biology teachers to face new challenges in teaching, especially the topic of microbial evolution. Microbes play an important role as a model in understanding the evolutionary process, including through CRISPR technology (genome editing). In addition, the mechanism of antibiotic resistance is also a clear example of evolution through genetic changes. However, limited access to information and facilities is an obstacle for teachers in developing appropriate learning modules. This service activity aims to improve the insight and competence of Biology teachers related to microbial evolution, through the introduction of CRISPR technology and antibiotic resistance, both in theory and practice. The training began with a pre-training survey on antibiotic use, material delivery and continued with antibiotic sensitivity test practice. Evaluation in the form of *pretest* and *posttest* was also given to participants who were categorized on a scale of understanding: very low, low, medium, high, and very high. The training participants had sufficient experience in the use of antibiotics before the training, but their understanding of antibiotics still varied. The *pretest* results obtained an understanding of 8.3% very low, 20.8% low, 33.3% medium, 33.3% high, and 4.2% very high. The *posttest* results showed a significant difference, with only two categories, 38.1% high and 61.9% very high. This result shows that the participants' understanding has increased by 28.4% with an average *pretest* score of 62 and *posttest* score of 87. In addition, participants were also able to conduct antibiotic sensitivity tests and how to interpret the data. The participants' response was very positive, with a satisfaction index score between 94-97 which is classified as very good. The theory and practice obtained are expected to increase teacher innovation in learning for students to understand microbial evolution.

Keywords — CRISPR, microbial evolution, antibiotic resistance, merdeka curriculum



1. Pendahuluan

Kurikulum pendidikan dasar dan menengah yang sedang berlaku di Negara Indonesia adalah kurikulum merdeka, yang telah diterapkan sejak tahun 2022. Kurikulum ini bertujuan untuk menyederhanakan kurikulum sebelumnya yang terkesan rumit dan tidak bisa memenuhi kompetensi peserta didik. Guru dan siswa memiliki kebebasan untuk merencanakan pembelajarannya [1]. Namun demikian, pada tataran pendidikan menengah (SMA), para guru menghadapi beberapa kendala untuk menerapkan kurikulum merdeka ini, seperti pemahaman prinsip merdeka belajar yang masih kurang, pembelajaran yang masih bertumpu pada metode ceramah (guru sebagai pusat pembelajaran), dan kesulitan dalam pembuatan modul ajar [2].

Kesiapan para guru, staf sekolah dan siswa serta orang tua dalam menerapkan kurikulum merdeka ini sangat penting. Perubahan pemikiran tentang apa yang harus dilakukan dalam implementasi kurikulum merdeka seharusnya tidak hanya dilakukan oleh guru tetapi juga siswa sebagai subjek utama dalam kurikulum ini. Siswa mengalami kesulitan dalam menentukan pilihan minat untuk diri mereka sendiri, karena mereka telah terbiasa segala kebutuhan dalam pembelajaran disediakan para guru. Peran orang tua sangat dibutuhkan dalam membantu siswa untuk mengidentifikasi dan mengetahui potensi, bakat, dan minat mereka sendiri. Di sisi lain, implementasi kurikulum merdeka ini berdampak positif dalam meningkatkan motivasi belajar siswa dan kualitas guru yang tidak hanya berperan sebagai pendidik, tapi juga sebagai motivator dan fasilitator [1].

Pembelajaran biologi selain mencakup penguasaan konsep dan fakta-fakta yang berkaitan dengan alam, juga bersifat penemuan. Siswa harus memahami konsep-konsep pokok di dalam pembelajaran biologi melalui penalaran, penemuan konsep-konsep terkait atau membuat hubungan antara konsep dengan berbagai cara. Ilmu mikrobiologi sebagai salah satu cabang ilmu Biologi telah mengalami perkembangan yang pesat terutama terkait pemanfaatan mikroba sebagai solusi permasalahan umat manusia dan lingkungan. Salah satu fenomena penting dalam kajian

mikrobiologi adalah proses terjadinya evolusi. Studi evolusi dalam mikrobiologi sangat penting karena memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang konsep-konsep evolusi yang lebih abstrak dan kompleks. Pemahaman ini dimulai dari tingkatan organisme rendah seperti mikroba. Dengan memahami evolusi mikroba, proses yang sama pada organisme tingkat tinggi, termasuk manusia, dapat lebih mudah dipahami. Mikroorganisme sering kali menjadi model dalam eksperimen evolusi karena reproduksinya yang cepat dan responsnya terhadap tekanan lingkungan, sehingga memberikan data yang jelas tentang mekanisme evolusi seperti seleksi alam dan adaptasi [3].

Penggunaan kurikulum merdeka dalam proses pembelajaran mikrobiologi dapat membantu guru dan siswa mempelajari konsep evolusi secara luas. Dengan demikian, siswa berkesempatan mempelajari konsep-konsep secara mendalam sesuai dengan perkembangan dari tahapan belajarnya. Seiring dengan meningkatnya antusiasme siswa untuk mengikuti kompetisi ilmiah remaja (karya ilmiah), para guru Biologi seharusnya juga telah dibekali pemahaman terkini tentang perkembangan bioteknologi khususnya yang melibatkan peran mikroba. Konsep evolusi pada mikroba dapat dijelaskan dengan aplikasi teknologi CRISPR dan mekanisme resistensi antibiotik. Kedua fenomena tersebut melibatkan perubahan materi genetik (genom) dari mikroba atas respon adanya perubahan lingkungan. Pemanfaatan teknologi CRISPR yang merupakan teknik edit genom bahkan digunakan sebagai agen terapeutik untuk melawan patogen yang resisten terhadap antibiotik [4].

Permasalahan yang dihadapi oleh para guru Biologi dalam mengimplementasikan kurikulum merdeka di sekolahnya adalah adanya keterbatasan dalam penyusunan modul pembelajaran yang melibatkan kajian tentang mikrobiologi, dan kurangnya akses informasi tentang perkembangan bioteknologi khususnya yang berkaitan dengan konsep evolusi. Selain itu keterbatasan fasilitas pendukung pembelajaran juga menyebabkan para guru tidak dapat memberikan kesempatan bagi siswa untuk melakukan kegiatan praktikum sesuai standar.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini mendukung Renstra Pengabdian kepada



Masyarakat 2021-2025 pada bidang unggulan PT Pelayanan Sosial Dasar dengan topik unggulannya adalah Penguatan Layanan Pendidikan. Pada akhirnya, kegiatan ini mendukung salah satu program dalam SDG yaitu Pendidikan Berkualitas. Universitas Brawijaya (UB) yang merupakan salah satu Research University dan Entrepreneur University yang berperan penting bagi pengembangan IPTEK di Indonesia, khususnya di Jawa Timur (center of excellence), UB memiliki kontribusi yang sangat penting bagi penyelenggaraan program-program peningkatan kompetensi guru-guru SMA melalui pengabdian kepada masyarakat.

Solusi yang ditawarkan untuk membantu menyelesaikan permasalahan serta meningkatkan kompetensi guru-guru SMA antara lain memberikan penyegaran melalui ceramah dan diskusi tentang mekanisme proses evolusi pada mikroba ditinjau dari aplikasi teknologi CRISPR dan terjadinya resistensi antibiotik, praktikum deteksi bakteri resisten terhadap antibiotik, pengisian kuesioner sebelum dan sesudah kegiatan, sehingga capaian kegiatan pengabdian kepada masyarakat dapat diukur.

2. Target dan Luaran

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini mengikutsertakan guru Biologi yang tergabung dalam MGMP Biologi Kota Malang. Target luaran kegiatan pengabdian kepada masyarakat bagi peserta (guru-guru) setelah mengikuti kegiatan ini diharapkan mampu mentransfer ilmu yang didapat (teori dan praktikum) kepada siswa di sekolahnya serta kolega-kolega yang tergabung dalam MGMP serta menerapkan/memodifikasi teknik sesuai denganketersediaan sarana prasarana pendukung di sekolah masing-masing.

3. Metodologi

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PkM) ini dilaksanakan pada tanggal 24-25 Agustus 2024 di Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Peserta kegiatan ini adalah para guru Biologi di SMA yang tergabung dalam MGMP Biologi Kota/Kabupaten Malang sejumlah 19 orang dan empat siswa SMA. Pelaksanaan

kegiatan ini berupa ceramah dan diskusi kemudian dilanjutkan praktikum di laboratorium. Secara umum materi yang disampaikan sebagaimana yang tercantum di Tabel 1.

Tabel 1. Materi yang disampaikan dalam Pengabdian kepada Masyarakat

No.	Materi	Tanggal
1.	Teori: CRISPR-Cas9 <i>System: Site specific gene editing technology</i>	24 Agustus 2024
2.	Teori: Resistensi Antibiotik pada Mikroba: Mekanisme, Metode Deteksi dan Solusinya	24 Agustus 2024
3.	Praktikum: uji sensitivitas antibiotik (<i>disk diffusion test</i>)	24-25 Agustus 2024

Sebelum kegiatan PkM ini dilakukan peserta diminta untuk mengisi kuesioner pra-pelatihan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat pemahaman peserta terhadap penggunaan antibiotik dalam keseharian. Evaluasi pre- dan post-test juga dilakukan untuk mengetahui perubahan tingkat pemahaman pada materi yang disampaikan. Hasil pre- dan post-test dikelompokkan berdasarkan nilai (jawaban benar) yang diperoleh setiap peserta berdasarkan skala sebagai berikut: Sangat tinggi: 85-100; Tinggi: 69-84; Sedang: 53-68; Rendah: 37-52; dan Sangat rendah: 20-36. Kepuasan pelaksanaan kegiatan ini juga dievaluasi melalui penyebaran kuesioner kepuasan. Data hasil kuesioner kepuasan peserta dianalisis menggunakan skala Likert (1 – 4) dan kemudian dikonversi menggunakan skala 100. Jika indeks kepuasan di atas 3,5 maka tergolong “sangat baik”.

Kegiatan praktikum pada hari pertama adalah melakukan uji sensitivitas empat isolat bakteri yang diisolasi dari lingkungan sekolah terhadap empat antibiotik. Modul praktikum disiapkan untuk memudahkan peserta melaksanakan praktikum yang juga dipandu



oleh tim PkM. Setiap peserta dalam setiap kelompok melakukan inokulasi bakteri dengan teknik swab pada media agar dan meletakkan antibiotik pada tiap media agar tersebut. Pada hari kedua, peserta mengamati hasil ujinya dan melakukan interpretasi data sesuai modul praktikum. Interpretasi data berupa kategori sensitivitas antibiotik meliputi sensitif, intermediet, dan resisten yang mengacu pada pedoman Clinical and Laboratory Standard Institute [5]. Peserta juga diajari cara melakukan teknik aseptis dan memindahkan kultur bakteri sebagai bagian dari teknik dasar mikrobiologi. Luaran dari praktikum ini adalah laporan praktikum tiap individu. Sertifikat peserta akan dibagikan jika tiap peserta telah mengumpulkan laporan praktikum di waktu yang telah disepakati.

4. Pembahasan

Hasil Survei Pra-pelatihan

Pemahaman terkait evolusi mikroba dapat dipelajari melalui mekanisme CRISPR dan resistensi antibiotik. Dengan adanya keterbatasan fasilitas, materi pertama hanya disampaikan melalui ceramah dan diskusi untuk memperkenalkan konsep dasar dan aplikasinya. Dengan demikian proporsi materi kedua lebih besar dibandingkan materi pertama. Namun demikian selama sesi tanya jawab, peserta juga tertarik pada peran CRISPR sebagai teknologi terbaru dalam menyelesaikan permasalahan di kehidupan manusia.

Pengetahuan dasar tentang penggunaan antibiotik dalam kehidupan sehari-hari dapat terlihat dari hasil kuesioner pra-pelatihan (Gambar 1). Pada umumnya, peserta telah memahami cara menggunakan antibiotik secara benar dan bijaksana. Sebagian besar peserta pernah menggunakan antibiotik sebagai terapi dalam kurun waktu satu tahun terakhir (53,8%). Penggunaan antibiotik secara benar ditunjukkan dengan pemahamannya pada jenis penyakit yang dapat diobati menggunakan antibiotik dan kapan saatnya menggunakan antibiotik ketika sakit. Peserta memahami bahwa nyeri dan demam tidak dapat diobati dengan antibiotik (61,5%), dan tubuh mampu sembuh sendiri jika terinfeksi ringan sehingga tidak perlu diobati dengan antibiotik (96%). Penggunaan antibiotik secara bijaksana dilihat dari pemahaman peserta

tentang penggunaan antibiotik sesuai resep dan arahan dokter. Peserta memahami bahwa pembelian antibiotik harus dengan resep dokter (92,3%), antibiotik harus dihabiskan meskipun tubuh merasa lebih sehat (88,5%), dan 73,1% peserta tidak menggunakan antibiotik tanpa anjuran dokter. Akan tetapi, pemahaman peserta tentang cara membuang antibiotik dengan benar masih kurang (84,6%). Pemahaman yang benar tentang penggunaan antibiotik ini telah disampaikan para peserta (80,8%) kepada lingkungan terdekat seperti keluarga, tetangga dan siswa.

Resistensi antibiotik dapat terjadi akibat penggunaan antibiotik yang tidak tepat dan tidak bijaksana. Resep yang tidak sesuai, seperti penggunaan antibiotik untuk infeksi virus atau tidak menghabiskan seluruh dosis pengobatan, berkontribusi pada seleksi dan penyebaran strain bakteri yang resisten. Menurut Otaigbe & Elikwu [6], penggunaan antibiotik yang tidak tepat merupakan faktor utama pendorong resistensi, karena menciptakan lingkungan selektif sehingga bakteri resisten dapat berkembang biak dengan cepat. Penyalahgunaan ini dapat berupa dosis yang tidak sesuai, resep yang tidak perlu, atau penggunaan antibiotik tanpa anjuran dokter. Demikian pula, Church & Mckillip [7] menjelaskan bahwa penggunaan antibiotik yang tidak tepat mendorong munculnya resistensi yaitu bakteri yang memiliki gen resisten untuk bertahan hidup dan berkembang biak. Fenomena ini dapat terjadi di lingkungan kesehatan maupun di masyarakat luas, yang akhirnya menimbulkan masalah kesehatan masyarakat yang lebih besar.

Hasil Praktikum

Tidak semua peserta memiliki penguasaan yang baik pada teknik dasar mikrobiologi. Hal ini ditunjukkan dari hasil kultur bakteri yang hasilnya diamati pada hari kedua pelatihan. Zona hambat dapat diamati dan diukur diameternya jika bakteri yang diujikan tumbuh secara merata di media agar. Untuk itu, data uji sensitivitas antibiotik yang berupa diameter zona hambat menggunakan data kelas yaitu hasil rata-rata zona hambat tiap isolat bakteri yang memiliki pertumbuhan yang baik (Tabel 2). Berdasarkan hasil pengukuran diameter zona



hambat, maka tingkat sensitivitas bakteri terhadap antibiotik yang digunakan dapat dikategorikan sebagai sensitif, intermediet, dan resisten. Di antara empat antibiotik yang digunakan, penicillin memberikan efek yang resisten bagi keempat isolat bakteri yang

diujikan, dan isolat T1.2 yang berasal dari hasil swab telapak tangan siswa menunjukkan resistensi pada dua antibiotik yaitu Erythromycin dan Penicillin (multi-drug resistance) (Tabel 3).

Tabel 2. Rata-rata diameter zona hambat hasil uji *disk diffusion agar*

Antibiotik	Rata-rata diameter zona hambat (mm)			
	HP1.1	M1.1	M1.2	T1.2
Chloramphenicol	25,89	24,67	31,15	30,66
Erythromycin	20,22	35,60	28,82	11,05
Kanamycin	24,11	26,39	27,03	29,47
Penicillin	13,52	8,00	11,28	25,25

Tabel 3. Interpretasi hasil uji *disk diffusion agar*

Antibiotik	Kategori sensitivitas			
	HP1.1	M1.1	M1.2	T1.2
Chloramphenicol	S	S	S	S
Erythromycin	S	S	S	R
Kanamycin	I	S	S	S
Penicillin	R	R	R	R

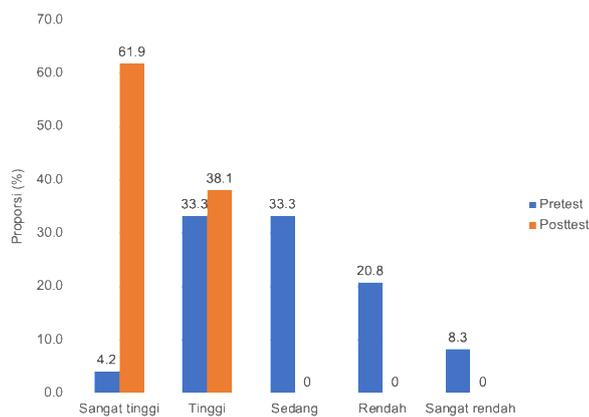
Keterangan: S: sensitif; I: intermediet; R: resisten

Mekanisme bakteri menjadi resisten terhadap antibiotik meliputi lima cara [8]. 1). *Active efflux* yaitu antibiotik yang masuk ke dalam sel kemudian segera dikeluarkan lagi melalui mekanisme transpor aktif sel. 2). *Decreased uptake* yaitu antibiotik tidak dapat menembus dinding sel bakteri akibat perubahan sifat dinding sel bakteri. 3). *Enzymatic inactivation* yaitu antibiotik dihancurkan oleh aktivitas enzim yang dihasilkan bakteri. 4). *Modified target site* yaitu bakteri mengubah reseptor, tempat antibiotik mengenali sel target. 5). *Target site protection* yaitu bakteri mengubah fisiko-kimia target sasaran antibiotik [8]. Adapun kriteria bakteri yang bersifat *multi-drug resistance* (MDR) didefinisikan sebagai bakteri yang resisten pada lebih dari satu agen antibiotik. Contoh spesies bakteri yang telah mengalami MDR adalah *methicillin resistance S. aureus* (MRSA) [9].

Hasil Evaluasi dan Survei Kepuasan

Perubahan pemahaman peserta pelatihan ditunjukkan melalui hasil evaluasi sebelum dan sesudah pelatihan dilaksanakan (*pretest* dan *posttest*). Tingkat *pemahaman* peserta pada kedua materi yang disampaikan telah mengalami peningkatan. Nilai *pretest* berkisar antara 30-90 dengan rata-rata 62, sedangkan nilai *posttest* meningkat yang berkisar antara 75-100, dengan rata-rata 87. Peserta yang nilai *pretest*-nya 30 meningkat menjadi 80, terjadi peningkatan pemahaman sebesar 63%, dan secara keseluruhan rata-rata peningkatannya sebesar 28,4%. Jika dikelompokkan berdasarkan skalanya, nilai *posttest* berada pada skala tinggi (38,1%) dan sangat tinggi (61,9%) (Gambar 2). Dengan demikian, pelatihan ini telah berhasil meningkatkan pemahaman peserta pada materi terkait peran CRISPR dan resistensi antibiotik dalam proses evolusi mikroba.





Gambar 1. Perbandingan nilai *pretest* dan *posttest*

Adanya peningkatan pemahaman peserta setelah materi disampaikan dan didiskusikan berkorelasi dengan tingkat kepuasan peserta pada kualitas penyampaian materi, baik oleh pemateri pertama maupun kedua. Indeks kepuasan peserta pada pemateri pertama berkisar antara 3,72-4, dengan nilai indeks kepuasan sebesar 96,6 (Gambar 3). Adapun indeks kepuasan penyampaian materi kedua berkisar antara 3,72-3,95, dengan nilai indeks

kepuasan sebesar 97,9 (Gambar 4). Dengan indeks kepuasan di atas 3,5, maka kualitas penyampaian materi oleh kedua pemateri tergolong “sangat baik”. Meskipun demikian ada dua penilaian yang dirasa perlu ditingkatkan yaitu inspirasi dalam bentuk ide karya tulis ilmiah atau penelitian, dan penyampaian materi diusahakan lebih menarik dan mendorong partisipasi aktif peserta dalam diskusi.



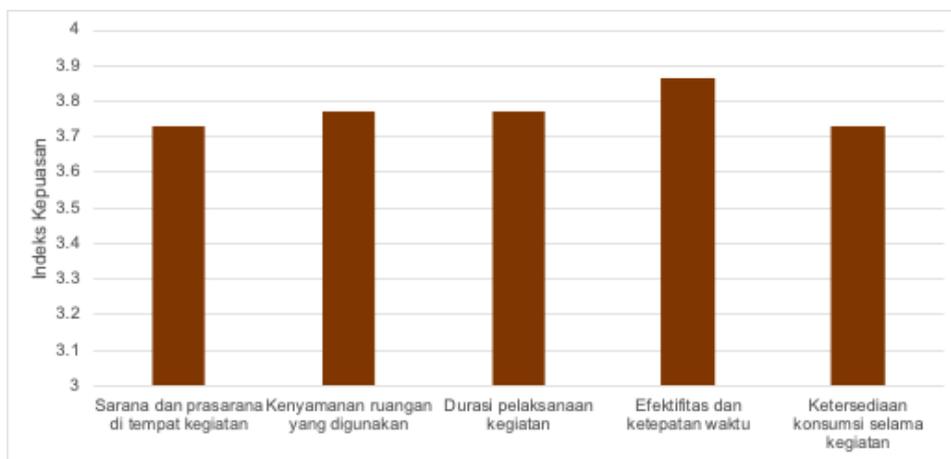
Gambar 2. Hasil evaluasi kepuasan peserta terhadap penyampaian materi pertama



Gambar 3. Hasil evaluasi kepuasan peserta terhadap penyampaian materi kedua

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat telah terlaksana dengan lancar sesuai yang direncanakan. Hal ini didukung dengan penilaian kepuasan peserta terhadap kinerja panitia dalam mempersiapkan dan melaksanakan kegiatan. Indeks kepuasan peserta berkisar antara 3,72-3,86, dengan nilai indeks kepuasan sebesar 94,3 (Gambar 5), yang tergolong “sangat baik”. Pengabdian kepada masyarakat dengan sasaran utama peningkatan kompetensi (*responsiveness*) terutama bagi para guru Biologi di SMA telah berhasil ditunjukkan dari hasil evaluasi dengan nilai indeks kepuasan paling tinggi yaitu 4 (Gambar 6). Pada posisi di bawahnya adalah aspek *empathy* (memberikan perhatian dan kepedulian kepada peserta sehingga meningkatkan motivasi beraktivitas secara kolektif dengan indeks kepuasan sebesar

3,95. Tiga hal yang masih perlu ditingkatkan adalah aspek *reliability* (peningkatan bekal keterampilan, dan penerapan dalam pekerjaan) dan *assurance* (kegiatan terselenggara dengan baik sesuai target). Meskipun setiap peserta diberikan kesempatan untuk mempraktikkan sesuai modul praktikum, bekal keterampilan peserta perlu diasah lebih lanjut di tempat kerja masing-masing. Secara keseluruhan kegiatan terlaksana sesuai yang diinginkan, namun kegagalan beberapa peserta dalam menumbuhkan bakteri sesuai kriteria yang diharapkan menjadikan penilaian aspek *assurance* perlu menjadi perhatian. Pada pelatihan berikutnya, sebaiknya peserta diberi kesempatan untuk mengulang sampai teknik yang dikerjakan sudah benar dan diperoleh hasil sesuai harapan.



Gambar 4. Hasil evaluasi kepuasan peserta terhadap kinerja panitia pelatihan



Gambar 5. Hasil evaluasi kepuasan peserta terhadap kegiatan PkM

5. Kesimpulan

Kegiatan pelatihan dalam rangka PkM yang dilaksanakan berhasil meningkatkan pemahaman evolusi mikroba bagi guru Biologi SMA di Malang, khususnya melalui mekanisme CRISPR dan resistensi antibiotik. Peserta pelatihan memiliki pengalaman yang cukup dalam penggunaan antibiotik sebelum pelatihan, namun pemahaman mereka terkait antibiotik bervariasi. Berdasarkan data *pretest* dan *posttest*, pemahaman peserta terhadap materi yang disampaikan meningkat sebesar 28,4% dengan rata-rata nilai *pretest* 62 dan *posttest* 87. Selain itu, hasil praktikum menunjukkan bahwa 40% sampel bakteri dari swab telapak tangan siswa resisten terhadap lebih dari satu antibiotik, menunjukkan fenomena *multi-drug resistance*. Respon peserta sangat positif, dengan nilai indeks kepuasan antara 94-97 yang tergolong sangat baik.

6. Ucapan Terima Kasih

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini didanai oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya melalui Hibah Internal Pengabdian kepada Masyarakat 2024 dengan nomor surat perjanjian 2613.23/UN01.F09/PM/2024. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada tim asisten yang terlibat selama kegiatan yaitu Muhammad Rizki Fatoni, S.Si., Arlisa Muthia Rivalina Muarif, S.Si., dan A. Muh. Faiz Ramadhan S., S.Si., M.Si.

7. Daftar Pustaka

- [1] Rahmayumita, R & Hidayati, N., 2023. Kurikulum Merdeka: Tantangan dan Implementasinya pada Pembelajaran Biologi. *Biology and Education Journal*. 3(1):1-9.
- [2] Susilowati, E., 2022. Implementasi Kurikulum Merdeka Belajar pada Mata Pelajaran Pendidikan Agama Islam. *Al-Miskawaih: Journal of Science Education*, 1(1), 115–132. <https://doi.org/10.56436/mijose.v1i1.85>
- [3] Zilber-Rosenberg, I. and Rosenberg, E., 2008. Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution. *FEMS microbiology reviews*, 32(5), pp.723-735.
- [4] Kadkhoda, H., Gholizadeh, P., Kafil, H.S., Ghotaslou, R., Pirzadeh, T., Rezaee, M.A., Nabizadeh, E., Feizi, H. and Aghazadeh, M., 2024. Role of CRISPR-Cas systems and anti-CRISPR proteins in bacterial antibiotic resistance. *Heliyon*, 10(14).
- [5] CLSI, 2020. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. 30th Ed. CLSI supplement M100 Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute.
- [6] Otaigbe, I.I. and Elikwu, C.J., 2023. Drivers of inappropriate antibiotic use in low-and middle-income countries. *JAC-Antimicrobial Resistance*, 5(3), p.dlad062.
- [7] Church, N.A. and McKillip, J.L., 2021. Antibiotic resistance crisis: challenges and imperatives. *Biologia*, 76(5), pp.1535-1550.
- [8] Sher, E.K., Džidić-Krivić, A., Sesar, A., Farhat, E.K., Čeliković, A., Beća-Zećo, M., Pinjic, E. and Sher, F., 2024. Current state and novel outlook on prevention and treatment of rising antibiotic resistance in urinary tract infections. *Pharmacology & Therapeutics*, p.108688.
- [9] Aladekoyi, O., Siddiqui, S., Hania, P., Hamza, R. and Gilbride, K., 2024. Accumulation of antibiotics in the environment: Have appropriate measures been taken to protect Canadian human and ecological health? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 280, p.116513.

