Copyright © 2026 pada penulis
Madaniya, Vol. 7, No. 4, November 2026

Edukasi Mikrobioma Usus dan Resistensi Antimikroba Untuk Penggunaan Antibiotik Secara Bijak

Alnadia Yusriya Hibatullah [1]*, Amaliah Amriani Amran Saru [2], Deni Frans Sakka [3], Christina Aryanti Pada Soa [4], Oriny Tri Ananda [5]

[1–5] Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

* Email korespondensi: alnadia.yusriya@unm.ac.id

Abstrak

Mikrobioma usus memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan manusia, sedangkan penggunaan antibiotik yang tidak tepat dapat mengganggu keseimbangan komunitas mikroba dan berkontribusi terhadap perkembangan resistensi antimikroba. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan pengetahuan mahasiswa mengenai keterkaitan antara mikrobioma usus, penggunaan antibiotik, dan resistensi antimikroba. Kegiatan dilaksanakan secara luring pada hari Jumat, 6 November 2026 di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar, dengan melibatkan 50 mahasiswa yang terdiri atas 22 mahasiswa Program Studi Bioteknologi dan 28 mahasiswa Program Studi Sains. Metode pelaksanaan meliputi edukasi menggunakan media presentasi, diskusi dan tanya jawab, serta evaluasi melalui tes awal, tes akhir, dan kuesioner kepuasan peserta. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa rata-rata skor pengetahuan peserta meningkat dari 7,40 menjadi 8,94 dari skor maksimal 10. Uji Wilcoxon Signed-Rank menunjukkan adanya perbedaan skor yang signifikan antara sebelum dan sesudah kegiatan ($p < 0{,}001$). Sebanyak 64% peserta mengalami peningkatan skor, sedangkan 36% memperoleh skor tetap. Rata-rata tingkat kepuasan peserta mencapai 4,76 dari skala 5. Kegiatan ini menunjukkan bahwa edukasi terintegrasi mengenai mikrobioma usus dan resistensi antimikroba berpotensi meningkatkan literasi mikrobiologi serta pemahaman mahasiswa mengenai penggunaan antibiotik secara bertanggung jawab.

Kata Kunci: *mikrobioma usus, resistensi antimikroba, antibiotik, edukasi, mahasiswa*

Pendahuluan

Mikrobioma usus merupakan ekosistem kompleks yang terdiri atas bakteri, archaea, virus, dan fungi yang berperan dalam menjaga homeostasis saluran pencernaan, metabolisme nutrien, perkembangan sistem imun, serta perlindungan terhadap kolonisasi patogen. Salah satu fungsi pentingnya adalah fermentasi serat dan pati resisten menjadi *short-chain fatty acids* (SCFA), terutama asetat, propionat, dan butirat, yang berkontribusi terhadap integritas epitel usus dan regulasi respons imun (Mann et al., 2024; Mukhopadhya & Louis, 2025; Ross et al., 2024). Mikrobiota juga memberikan perlindungan melalui mekanisme *colonization resistance*, yaitu pembatasan kolonisasi patogen melalui

kompetisi nutrien dan tempat perlekatan serta produksi senyawa antimikroba. Gangguan keseimbangan mikrobiota dapat mengurangi perlindungan tersebut dan meningkatkan kerentanan terhadap infeksi (Fishbein et al., 2023).

Penggunaan antibiotik dapat memengaruhi struktur dan fungsi mikrobioma usus dengan mengurangi keragaman mikroorganisme komensal serta mengubah aktivitas metabolik komunitas mikroba. Gangguan ini dapat mengurangi kompetisi ekologis terhadap patogen, termasuk *Clostridioides difficile*, sehingga meningkatkan risiko infeksi. Tingkat pemulihan mikrobiota setelah paparan antibiotik juga bervariasi bergantung pada jenis dan durasi penggunaan antibiotik, karakteristik individu, serta kondisi awal komunitas mikroba (Fishbein et al., 2023). Kondisi tersebut berkaitan dengan resistensi antimikroba (*antimicrobial resistance*, AMR), yaitu kemampuan mikroorganisme untuk bertahan terhadap paparan antimikroba yang sebelumnya efektif. AMR menjadi perhatian kesehatan global karena dapat mengurangi efektivitas pengobatan infeksi dan meningkatkan risiko kegagalan terapi. Laporan *Global Antibiotic Resistance Surveillance Report 2025* dari World Health Organization (WHO) menganalisis lebih dari 23 juta kasus infeksi terkonfirmasi secara bakteriologis dari berbagai negara, yang menegaskan pentingnya penguatan surveilans dan pengendalian resistensi secara global (Nakatani, 2025).

Dalam ekosistem usus, gen resistensi antimikroba tidak hanya ditemukan pada bakteri patogen, tetapi juga pada mikroorganisme komensal sebagai bagian dari kumpulan gen yang dikenal sebagai *gut resistome*. Gen-gen tersebut berpotensi menyebar melalui transfer gen horizontal (*horizontal gene transfer*), yang meliputi konjugasi, transformasi, dan transduksi. Dengan demikian, mikrobioma usus dapat menjadi reservoir gen resistensi dan berperan dalam dinamika penyebarannya (Castañeda-Barba et al., 2023; Fishbein et al., 2023). Penyebaran AMR juga melibatkan interaksi antara kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan. Pendekatan *One Health* menekankan keterkaitan ketiga sektor tersebut, termasuk dalam konteks penggunaan antimikroba di bidang kesehatan, peternakan, dan akuakultur serta penyebaran residu antimikroba dan mikroorganisme resisten di lingkungan (World Health Organization, 2026).

Kompleksitas hubungan antara mikrobioma usus, penggunaan antibiotik, dan AMR menunjukkan pentingnya peningkatan literasi mikrobiologi, khususnya pada mahasiswa bidang biologi dan bioteknologi. Mahasiswa Program Studi Bioteknologi dan Program Studi Sains, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar merupakan kelompok sasaran yang relevan karena bidang keilmuannya berkaitan dengan mikroorganisme, proses biologis, dan interaksi organisme dengan lingkungan. Penelitian Orok et al. (2025) menunjukkan bahwa intervensi edukasi dapat meningkatkan pengetahuan mahasiswa mengenai AMR, meskipun beberapa miskonsepsi masih ditemukan setelah kegiatan. Berdasarkan hal tersebut, kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai fungsi mikrobiota usus, dampak antibiotik terhadap keseimbangan mikrobioma, mekanisme resistensi antimikroba, serta keterkaitan *gut resistome* dengan pendekatan *One Health* melalui edukasi, diskusi, dan evaluasi pengetahuan.

Metode Pelaksanaan

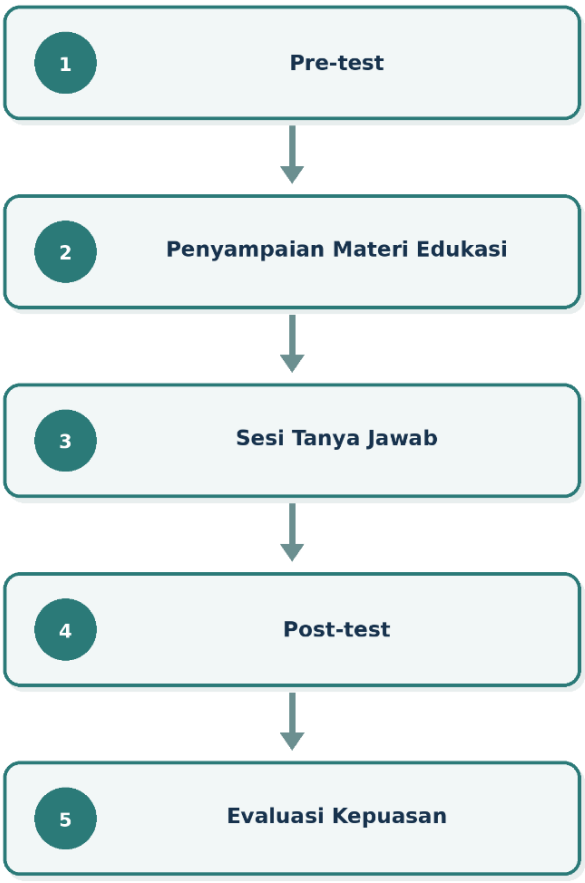
Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan pada hari Jumat, 6 November 2026 secara luring di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Makassar (UNM), Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Kegiatan berlangsung selama kurang lebih 60 menit dengan khalayak sasaran mahasiswa Program Studi Bioteknologi dan Program Studi Sains. Jumlah peserta yang mengikuti kegiatan sebanyak 50 mahasiswa, terdiri atas 22 mahasiswa Program Studi Bioteknologi (44%) dan 28 mahasiswa Program Studi Sains (56%). Lokasi pelaksanaan kegiatan ditunjukkan pada Gambar 1.



***Gambar 1**. Peta lokasi pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat di Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Makassar.*

Kegiatan dilaksanakan menggunakan metode edukasi tatap muka melalui penyampaian materi, diskusi interaktif, dan tanya jawab. Materi disampaikan oleh Alnadia Yusriya Hibatullah, S.T.P., M.Si., dosen Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, menggunakan media presentasi PowerPoint dengan tema *"Your Gut, Your Bacteria, Your Antibiotics: Understanding Gut Microbiome and Antimicrobial Resistance"*. Materi edukasi mencakup konsep mikrobiota dan mikrobioma usus, fungsi mikrobiota, pengaruh antibiotik terhadap keseimbangan mikrobioma, resistensi antimikroba, mekanisme transfer gen horizontal, konsep *gut resistome*, serta keterkaitannya dengan pendekatan *One Health*.

Pelaksanaan kegiatan terdiri atas tiga tahapan, yaitu persiapan, pelaksanaan edukasi, dan evaluasi. Tahap persiapan meliputi penyusunan materi presentasi, instrumen *pre-test* dan *post-test*, serta kuesioner kepuasan peserta. Instrumen pengetahuan terdiri atas 10 pertanyaan pilihan ganda yang disusun berdasarkan materi edukasi. Tahap pelaksanaan diawali dengan pengisian *pre-test*, dilanjutkan penyampaian materi dan diskusi interaktif, kemudian diakhiri dengan pengisian *post-test*. Pada tahap evaluasi, peserta juga diminta mengisi kuesioner kepuasan untuk menilai pelaksanaan kegiatan. Alur pelaksanaan kegiatan ditunjukkan pada Gambar 2.



***Gambar 2**. Tahapan pelaksanaan kegiatan edukasi.*

Keberhasilan kegiatan dievaluasi berdasarkan peningkatan pengetahuan dan kepuasan peserta. Peningkatan pengetahuan dianalisis melalui perbandingan skor *pre-test* dan *post-test*, meliputi statistik deskriptif, perubahan skor individual, dan persentase jawaban benar pada setiap pertanyaan. Perbedaan skor sebelum dan sesudah edukasi dianalisis menggunakan uji statistik yang sesuai dengan distribusi data. Sementara itu, kepuasan peserta dianalisis secara deskriptif berdasarkan distribusi skor penilaian dan tanggapan terhadap pertanyaan terbuka.

Hasil dan Pembahasan

Pelaksanaan Kegiatan dan Karakteristik Peserta

Kegiatan edukasi diikuti oleh 50 mahasiswa dari Program Studi Bioteknologi dan Program Studi Sains. Pelaksanaan kegiatan meliputi pengisian *pre-test*, penyampaian materi, diskusi dan tanya jawab, pengisian *post-test*, serta evaluasi kepuasan peserta. Dokumentasi penyampaian materi edukasi ditampilkan pada Gambar 3.

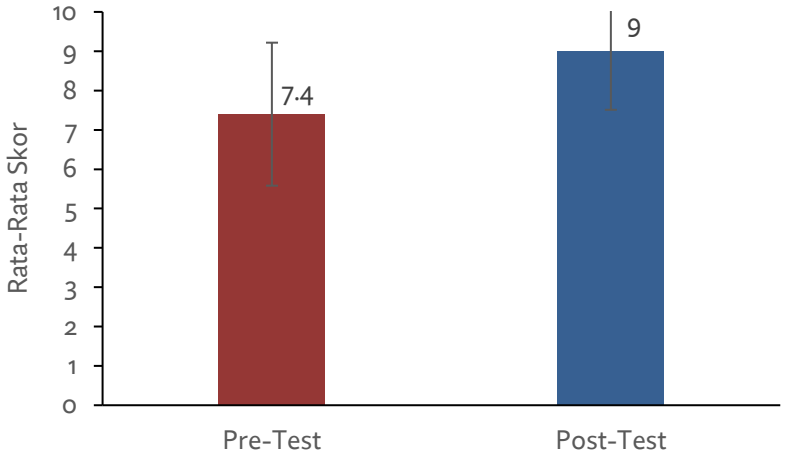
Keterlibatan mahasiswa dari kedua program studi memberikan kesempatan untuk membahas resistensi antimikroba melalui perspektif biologi dan bioteknologi. Topik ini relevan dengan bidang keilmuan peserta karena melibatkan genetika mikroba, ekologi komunitas mikroorganisme, interaksi mikroba dengan inang, serta penyebaran determinan resistensi di lingkungan.



***Gambar 3**. Penyampaian materi edukasi mengenai mikrobioma usus dan resistensi antimikroba kepada mahasiswa*

Perubahan Pengetahuan Peserta Berdasarkan *Pre-test* dan *Post-test*

Evaluasi pengetahuan dilakukan terhadap 50 peserta menggunakan 10 pertanyaan pilihan ganda yang sama pada *pre-test* dan *post-test*. Hasil analisis menunjukkan peningkatan rata-rata skor dari 7,40 menjadi 8,94 dari skor maksimal 10. Median skor juga meningkat dari 8 menjadi 10, sedangkan standar deviasi menurun dari 1,82 menjadi 1,50. Skor minimum meningkat dari 3 menjadi 5, sementara skor maksimum tetap 10.



***Gambar 4**. Perbandingan rata-rata skor pengetahuan peserta sebelum dan sesudah kegiatan edukasi*

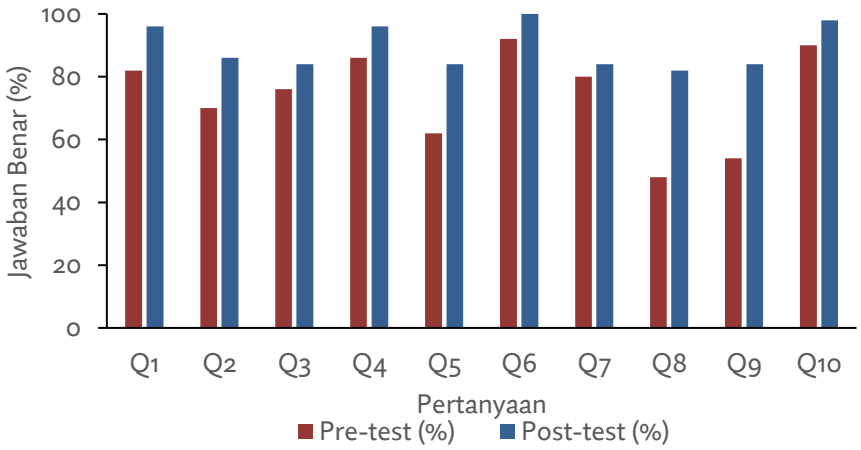
Analisis perubahan skor individual menunjukkan bahwa 32 peserta (64%) mengalami peningkatan, sedangkan 18 peserta (36%) memperoleh skor tetap. Tidak ditemukan peserta yang mengalami penurunan skor setelah kegiatan edukasi.

Uji Shapiro–Wilk menunjukkan bahwa distribusi selisih skor *pre-test* dan *post-test* tidak memenuhi asumsi normalitas ($W = 0{,}844$; $p < 0{,}001$). Oleh karena itu, perbandingan skor dilakukan menggunakan uji Wilcoxon Signed-Rank. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan skor yang signifikan antara sebelum dan sesudah edukasi ($W = 0{,}00$; $p < 0{,}001$). Nilai korelasi rank-biserial berpasangan sebesar 1,00 menunjukkan bahwa seluruh perubahan skor yang terjadi mengarah pada peningkatan.

Temuan ini mengindikasikan adanya peningkatan pengetahuan peserta setelah kegiatan edukasi. Hasil ini sejalan dengan Orok et al. (2025), yang melaporkan peningkatan pengetahuan mengenai resistensi antimikroba pada mahasiswa bidang kesehatan setelah intervensi edukasi. Temuan tersebut memperkuat pentingnya edukasi terarah dan evaluasi lanjutan untuk menilai retensi pengetahuan serta perubahan perilaku (Orok et al., 2025).

Perubahan Pemahaman Peserta Berdasarkan Topik Materi

Analisis per butir pertanyaan dilakukan untuk mengidentifikasi konsep yang mengalami peningkatan pemahaman serta materi yang masih memerlukan penguatan. Secara keseluruhan, persentase jawaban benar meningkat pada seluruh pertanyaan, meskipun besarnya peningkatan berbeda antar-topik.



***Gambar 5**. Perbandingan persentase jawaban benar peserta pada setiap butir pertanyaan sebelum dan sesudah edukasi*

Peningkatan terbesar ditemukan pada materi mekanisme biologis resistensi antimikroba. Pemahaman mengenai seleksi alam meningkat dari 48% menjadi 82%, sedangkan pemahaman mengenai transformasi dalam transfer gen horizontal meningkat dari 54% menjadi 84%. Hasil ini menunjukkan peningkatan pemahaman peserta mengenai proses seleksi bakteri yang memiliki karakteristik resistensi serta perpindahan materi genetik melalui pengambilan DNA bebas dari lingkungan. Kedua konsep tersebut penting dalam memahami perkembangan dan penyebaran resistensi antimikroba. Castañeda-Barba et al. (2023) menjelaskan peran elemen genetik, termasuk plasmid, dalam dinamika penyebaran resistensi antimikroba dalam kerangka One Health.

Pada materi antibiotik dan dampaknya terhadap mikrobiota, pemahaman mengenai mekanisme kerja tetrasiklin dan makrolida meningkat dari 62% menjadi 84%. Sementara itu, pemahaman mengenai hubungan antara penggunaan antibiotik dan perkembangan *Clostridioides difficile* meningkat dari 92% menjadi 100%. Tingginya skor awal menunjukkan bahwa sebagian besar peserta telah mengenali keterkaitan tersebut. Antibiotik dapat mengurangi mikroorganisme komensal yang berperan dalam *colonization resistance*, sehingga peluang kolonisasi dan perkembangan *C. difficile* meningkat (Cheng & Unnikrishnan, 2023; Spigaglia, 2024).

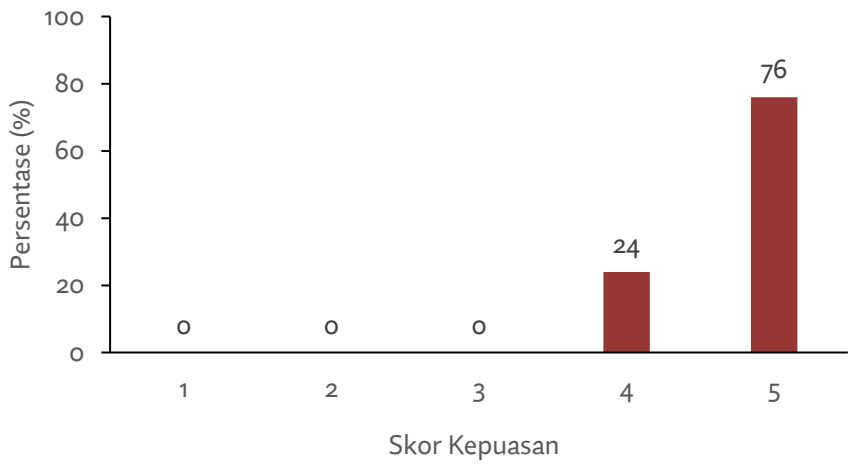
Pada materi ekologi dan fungsi mikrobioma usus, pemahaman mengenai definisi *microbiome* meningkat dari 82% menjadi 96%, distribusi mikroorganisme pada saluran pencernaan dari 70% menjadi 86%, serta fermentasi serat dan produksi *short-chain fatty acids* (SCFA) dari 76% menjadi 84%. SCFA, terutama asetat, propionat, dan butirat, merupakan metabolit hasil fermentasi komponen pangan yang tidak tercerna dan berperan dalam metabolisme serta regulasi sistem imun inang (Mann et al., 2024; Mukhopadhya & Louis, 2025). Pemahaman mengenai *colonization resistance* juga meningkat dari 86% menjadi 96%. Mekanisme ini melibatkan kompetisi nutrien dan tempat perlekatan serta produksi metabolit yang dapat membatasi kolonisasi patogen (Fishbein et al., 2023; Spigaglia, 2024).

Adapun pada materi resistensi, toleransi, persistensi, dan *gut resistome*, peningkatan pemahaman mengenai perbedaan resistensi, toleransi, dan persistensi relatif lebih kecil, yaitu dari 80% menjadi 84%. Hal ini mengindikasikan bahwa pembedaan ketiga konsep tersebut masih memerlukan penguatan. Sebaliknya, pemahaman mengenai *gut resistome* dan *One Health* telah menunjukkan persentase jawaban benar yang tinggi sejak awal, yaitu meningkat dari 90% menjadi 98%.

Secara keseluruhan, peningkatan terbesar terjadi pada materi seleksi alam, transformasi, dan mekanisme kerja antibiotik, sedangkan konsep resistensi, toleransi, dan persistensi masih memerlukan penguatan. Temuan ini dapat menjadi dasar untuk menentukan prioritas materi pada kegiatan edukasi selanjutnya, terutama melalui penambahan ilustrasi dan studi kasus untuk menjelaskan konsep-konsep yang lebih kompleks.

Evaluasi Kepuasan dan Tanggapan Peserta

Evaluasi kepuasan menggunakan skala Likert lima tingkat menunjukkan rata-rata penilaian sebesar 4,76 dari 5. Sebanyak 38 peserta (76%) memberikan skor 5 atau sangat puas, sedangkan 12 peserta (24%) memberikan skor 4 atau puas. Tidak ada peserta yang memberikan skor 1, 2, atau 3. Dengan demikian, seluruh peserta memberikan penilaian positif terhadap kegiatan edukasi.



***Gambar 6**. Distribusi penilaian kepuasan peserta terhadap kegiatan edukasi*

Tanggapan terbuka menunjukkan bahwa peserta memperoleh pengetahuan baru mengenai mikrobiota usus, manfaat mikroorganisme dalam tubuh, serta dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat. Peserta juga menilai materi dan penyampaiannya menarik serta mudah dipahami. Beberapa peserta menyampaikan bahwa pembahasan mengenai transformasi dalam transfer gen horizontal merupakan pengetahuan baru bagi mereka.

Selain respons positif, peserta mengusulkan penambahan contoh kasus nyata dan praktik langsung. Masukan tersebut menunjukkan peluang untuk mengembangkan kegiatan yang tidak hanya berorientasi pada penyampaian informasi, tetapi juga memberikan pengalaman penerapan konsep mikrobiologi. Hal ini sejalan dengan Weeks et al. (2026) yang melalui tinjauan sistematis terhadap 42 penelitian edukasi *antimicrobial stewardship* pada mahasiswa menemukan bahwa intervensi masih lebih banyak berfokus pada pengetahuan dan kemampuan penalaran dibandingkan keterampilan praktis, kesempatan penerapan, dan motivasi. Oleh karena itu, studi kasus, simulasi, dan kegiatan kolaboratif dapat dipertimbangkan untuk memperkaya proses pembelajaran.

Implikasi Edukasi terhadap Literasi Mikrobioma dan Resistensi Antimikroba

Peningkatan skor evaluasi menunjukkan bahwa integrasi materi mikrobioma usus dan resistensi antimikroba berpotensi menjadi pendekatan edukasi yang relevan bagi mahasiswa Biologi. Materi tersebut menghubungkan konsep ekologi mikroorganisme, metabolisme mikroba, fisiologi inang, dan genetika bakteri dalam konteks kesehatan masyarakat. Dengan mengintegrasikan berbagai konsep tersebut, peserta memperoleh gambaran mengenai keterkaitan komunitas mikroorganisme dengan kesehatan inang dan permasalahan resistensi antimikroba.

Dari sisi pendidikan, peningkatan skor menunjukkan potensi edukasi berbasis presentasi dan diskusi dalam meningkatkan pemahaman konseptual peserta. Namun, hasil tersebut belum membuktikan adanya perubahan sikap maupun perilaku dalam penggunaan antibiotik. Oleh karena itu, kegiatan selanjutnya dapat dilengkapi dengan studi kasus, simulasi, dan analisis skenario penggunaan antibiotik untuk mendorong penerapan konsep dalam situasi nyata.

Keterbatasan dan Peluang Pengembangan Kegiatan

Kegiatan ini memiliki beberapa keterbatasan. Peserta hanya mencakup 50 mahasiswa dari dua program studi dalam satu institusi sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasikan secara luas. Selain itu, desain evaluasi menggunakan satu kelompok tanpa kelompok kontrol, sehingga peningkatan skor belum dapat memastikan hubungan sebab-akibat secara eksklusif antara edukasi dan perubahan pengetahuan. Instrumen yang terdiri atas 10 pertanyaan pilihan ganda juga hanya mengukur pemahaman konseptual, belum mencakup sikap, perilaku penggunaan antibiotik, maupun kemampuan pengambilan keputusan terkait antimikroba. Pengukuran *post-test* segera setelah kegiatan juga belum menggambarkan retensi pengetahuan jangka panjang.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, kegiatan berikutnya dapat dikembangkan melalui evaluasi tindak lanjut untuk mengukur retensi pengetahuan, perluasan instrumen evaluasi, serta penerapan studi kasus dan simulasi untuk menilai kemampuan peserta

dalam mengaplikasikan konsep. Pengembangan ini diharapkan dapat memperkuat literasi mikrobiologi dan kesadaran mengenai penggunaan antibiotik secara bertanggung jawab.

Kesimpulan

Kegiatan edukasi "*Your Gut, Your Bacteria, Your Antibiotics: Understanding Gut Microbiome and Antimicrobial Resistance*" yang dilaksanakan kepada 50 mahasiswa Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Makassar menunjukkan adanya peningkatan pengetahuan peserta mengenai mikrobioma usus dan resistensi antimikroba. Rata-rata skor peserta meningkat dari 7,40 pada *pre-test* menjadi 8,94 pada *post-test*, dengan peningkatan sebesar 1,54 poin. Hasil uji Wilcoxon Signed-Rank menunjukkan adanya perbedaan skor yang signifikan antara sebelum dan sesudah kegiatan ($p<0,001$). Sebanyak 64% peserta mengalami peningkatan skor, sedangkan 36% memperoleh skor tetap.

Peningkatan pemahaman terbesar ditemukan pada materi seleksi alam dalam perkembangan resistensi bakteri dan transformasi sebagai mekanisme transfer gen horizontal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa edukasi memberikan penguatan pemahaman terhadap sejumlah konsep mikrobiologi yang berkaitan dengan perkembangan dan penyebaran resistensi antimikroba. Selain itu, evaluasi kepuasan menunjukkan respons positif, dengan rata-rata penilaian sebesar 4,76 dari 5 dan seluruh peserta memberikan skor kepuasan 4 atau 5.

Secara keseluruhan, kegiatan ini menunjukkan bahwa edukasi yang mengintegrasikan konsep mikrobioma usus, penggunaan antibiotik, dan resistensi antimikroba berpotensi menjadi sarana peningkatan literasi mikrobiologi dan kesadaran mahasiswa terhadap isu resistensi antimikroba. Kegiatan selanjutnya disarankan untuk dilengkapi dengan studi kasus, simulasi, atau praktik sederhana serta evaluasi tindak lanjut guna mengukur retensi pengetahuan dan kemampuan peserta dalam menerapkan konsep yang telah dipelajari.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Makassar atas dukungan dan fasilitas yang diberikan, serta kepada seluruh mahasiswa Program Studi Bioteknologi dan Program Studi Sains atas partisipasi aktif dalam kegiatan edukasi ini.

Referensi

Castañeda-Barba, S., Top, E. M., & Stalder, T. (2023). Plasmids, a molecular cornerstone of antimicrobial resistance in the One Health era. *Nature Reviews Microbiology*, *22*(1), 18–32. https://doi.org/10.1038/s41579-023-00926-x

Cheng, J. K. J., & Unnikrishnan, M. (2023). Clostridioides difficile infection: traversing host-pathogen interactions in the gut. *Microbiology (Reading, England)*, *169*(2). https://doi.org/10.1099/MIC.0.001306

Fishbein, S. R. S., Mahmud, B., & Dantas, G. (2023). Antibiotic perturbations to the gut

microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, *21*(12), 772–788. https://doi.org/10.1038/s41579-023-00933-y

Mann, E. R., Lam, Y. K., & Uhlig, H. H. (2024). Short-chain fatty acids: linking diet, the microbiome and immunity. *Nature Reviews Immunology*, *24*(8), 577–595. https://doi.org/10.1038/s41577-024-01014-8

Mukhopadhya, I., & Louis, P. (2025). Gut microbiota-derived short-chain fatty acids and their role in human health and disease. *Nature Reviews Microbiology*, *23*(10), 635–651. https://doi.org/10.1038/s41579-025-01183-w

Nakatani, Y. (2025). Global Antibiotic Resistance Surveillance Report 2025 WHO Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System (GLASS). *Global Antibiotic Resistance Surveillance Report*, v–110.

Orok, E., Ikpe, F., Williams, T., & Ekada, I. (2025). Impact of educational intervention on knowledge of antimicrobial resistance and antibiotic use patterns among healthcare students: a pre- and post-intervention study. *BMC Medical Education*, *25*(1), 283-. https://doi.org/10.1186/S12909-025-06856-X

Ross, F. C., Patangia, D., Grimaud, G., Lavelle, A., Dempsey, E. M., Ross, R. P., & Stanton, C. (2024). The interplay between diet and the gut microbiome: implications for health and disease. *Nature Reviews Microbiology*, *22*(11), 671–686. https://doi.org/10.1038/s41579-024-01068-4

Spigaglia, P. (2024). Clostridioides difficile and Gut Microbiota: From Colonization to Infection and Treatment. *Pathogens*, *13*(8), 646. https://doi.org/10.3390/PATHOGENS13080646

Weeks, S., Drovandi, A., Turner, R., Garraghan, F., Shorten, R., Byrne-Davis, L., & Hart, J. (2026). A systematic review of antimicrobial stewardship education for undergraduate students in medicine, nursing, pharmacy, dentistry, veterinary science and midwifery using COM-B framework. *JAC-Antimicrobial Resistance*, *8*(1), dlaf245. https://doi.org/10.1093/JACAMR/DLAF245

World Health Organization. (2026, May 8). *One Health*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/one-health