

PROFIL PEMAHAMAN SISWA PADA MATERI EVOLUSI RESISTENSI ANTIBIOTIK DI SMA NEGERI 1 TANJUNG MORAWA

Maria Cintiana Tambunan¹, Syahmi Edi², Selvia Dewi Pohan³

Universitas Negeri Medan^{1,2,3}
mariatambunan31@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan profil pemahaman siswa pada materi evolusi resistensi terhadap antibiotik yang mencakup tingkat pemahaman, subkonsep yang sulit dipahami, pola penalaran, miskonsepsi, serta faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa. Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain *sequential explanatory*. Sampel penelitian berjumlah 143 siswa kelas XII SMA Negeri 1 Tanjung Morawa yang dipilih menggunakan teknik *purposive cluster sampling*. Data dikumpulkan melalui tes pilihan ganda, tes esai, tes diagnostik *two-tier*, angket, dan wawancara, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemahaman siswa masih bervariasi dan cenderung berada pada kategori sedang hingga rendah. Subkonsep mutasi dan/atau transfer gen sebagai sumber sifat resisten serta dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat merupakan materi yang paling sulit dipahami. Selain itu, siswa masih mengalami miskonsepsi dalam menjelaskan hubungan antara mutasi, seleksi alam, dan perkembangan resistensi antibiotik. Faktor-faktor yang mendukung pemahaman siswa meliputi relevansi materi dengan kehidupan sehari-hari, penggunaan contoh kasus, media visual, diskusi, dan cara guru menjelaskan materi. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran evolusi resistensi terhadap antibiotik perlu dikembangkan melalui strategi pembelajaran yang lebih kontekstual, visual, dan berorientasi pada penguatan pemahaman konsep.

Kata Kunci: Evolusi, Miskonsepsi, Pemahaman Siswa, Resistensi Antibiotik, *Two-Tier*

ABSTRACT

This study aimed to describe students' understanding profile of the material on the evolution of antibiotic resistance, including students' level of understanding, subconcepts that are difficult to comprehend, reasoning patterns, misconceptions, and factors that influence students' understanding. This study employed a mixed methods approach with a sequential explanatory design. The research sample consisted of 143 twelfth-grade students from SMA Negeri 1 Tanjung Morawa, selected using a purposive cluster sampling technique. Data were collected through multiple-choice tests, essay tests, two-tier diagnostic tests, questionnaires, and interviews, then analyzed using descriptive quantitative and qualitative methods.

The results showed that students' level of understanding varied and tended to be in the moderate to low category. The subconcepts of mutation and/or gene transfer as the source of resistant traits, as well as the impact of improper antibiotic use, were the most difficult materials for students to understand. In addition, students still experienced misconceptions in explaining the relationship between mutation, natural selection, and the development of antibiotic resistance. Factors that supported students' understanding included the relevance of the material to daily life, the use of case examples, visual media, discussion, and the way teachers explained the material. Based on these findings, learning about the evolution of antibiotic resistance needs to be developed through more contextual and visual learning strategies oriented toward strengthening conceptual understanding.

Keywords: *Antibiotic Resistance, Evolution, Misconception, Student Understanding, Two-Tier*

PENDAHULUAN

Resistensi antimikroba (*Antimicrobial Resistance/AMR*) merupakan salah satu tantangan kesehatan global yang semakin mengkhawatirkan karena menyebabkan menurunnya efektivitas antibiotik dalam mengobati penyakit infeksi. Fenomena ini merupakan bukti nyata proses evolusi biologis, ketika bakteri yang memiliki variasi genetik mampu bertahan terhadap tekanan seleksi akibat penggunaan antibiotik yang tidak tepat maupun berlebihan (Ghifari et al., 2025). Diperkirakan sebanyak 1,27 juta kematian pada tahun 2019 berkaitan langsung dengan resistensi antimikroba, dan jumlah tersebut diproyeksikan terus meningkat apabila penggunaan antibiotik tidak dikendalikan (Ghifari et al., 2025; Albadrani et al., 2025). Oleh karena itu, resistensi antibiotik tidak hanya menjadi isu kesehatan masyarakat, tetapi juga menjadi konteks yang sangat relevan dalam pembelajaran Biologi, khususnya pada materi evolusi.

Dalam pembelajaran Biologi, materi evolusi diharapkan tidak hanya dipahami sebagai konsep teoritis, tetapi juga mampu menjelaskan fenomena nyata yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu konteks yang sesuai adalah evolusi resistensi terhadap antibiotik karena melibatkan konsep variasi genetik, mutasi, seleksi alam, dan perubahan frekuensi gen dalam populasi. Pembelajaran yang mengaitkan konsep evolusi dengan fenomena kontekstual diharapkan mampu meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus membangun literasi sains peserta didik. Namun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemahaman siswa mengenai penggunaan antibiotik dan mekanisme resistensi masih tergolong rendah. Sebagian besar siswa belum memahami penggunaan antibiotik secara rasional maupun hubungan antara penggunaan antibiotik yang tidak tepat dengan munculnya resistensi (Oktianti & Hati, 2023; Erwiyani et al., 2023). Padahal, edukasi yang tepat terbukti mampu meningkatkan pemahaman siswa mengenai resistensi antibiotik secara signifikan (Rahardiantini et al., 2024).

Selain rendahnya tingkat pemahaman, berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa siswa masih mengalami miskonsepsi dalam menjelaskan evolusi resistensi antibiotik. Banyak peserta didik beranggapan bahwa antibiotik menyebabkan bakteri bermutasi menjadi resisten atau bahwa tubuh manusia menjadi kebal terhadap antibiotik. Padahal, resistensi merupakan hasil seleksi alam terhadap variasi genetik yang telah dimiliki bakteri sebelum paparan antibiotik (Pickett et al., 2022; Azevedo, 2024). Miskonsepsi tersebut menunjukkan bahwa siswa masih menggunakan penalaran intuitif dan teleologis ketika menjelaskan proses evolusi, sehingga konsep mutasi, seleksi alam, dan perubahan populasi belum dipahami secara ilmiah. Kondisi serupa juga ditemukan oleh Aptyka et al. (2022) yang melaporkan bahwa siswa sekolah menengah mengalami kesulitan menerapkan konsep seleksi alam pada konteks yang berbeda (*contextual reasoning*) serta masih mempertahankan miskonsepsi meskipun telah mengikuti pembelajaran.

Berbagai penelitian telah mengkaji pengetahuan siswa mengenai penggunaan antibiotik maupun efektivitas program edukasi resistensi antibiotik (Erwiyani et al., 2023; Nadar et al., 2025). Namun, penelitian yang secara komprehensif mendeskripsikan profil pemahaman siswa terhadap materi evolusi resistensi antibiotik, meliputi tingkat pemahaman, subkonsep yang sulit dipahami, pola penalaran, miskonsepsi, serta faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa, masih relatif terbatas, khususnya pada jenjang sekolah menengah atas di Indonesia. Kesenjangan ini menunjukkan adanya perbedaan antara kondisi yang diharapkan, yaitu pembelajaran evolusi yang mampu membangun pemahaman ilmiah siswa, dengan kondisi nyata yang menunjukkan masih rendahnya pemahaman konseptual serta bertahannya berbagai miskonsepsi.

SMA Negeri 1 Tanjung Morawa merupakan salah satu sekolah yang telah menerapkan Kurikulum Merdeka. Namun, berdasarkan hasil wawancara dengan guru Biologi, diketahui bahwa materi evolusi masih dianggap abstrak dan sulit dipahami siswa. Pembelajaran umumnya masih berfokus pada konsep yang terdapat dalam buku teks dan belum banyak mengaitkan materi evolusi dengan fenomena kontekstual, seperti resistensi antibiotik. Akibatnya, siswa cenderung menghafal konsep tanpa memahami hubungan antara mutasi, seleksi alam, dan terbentuknya resistensi antibiotik sebagai proses evolusi. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya kajian yang mampu menggambarkan profil pemahaman siswa secara komprehensif sehingga dapat menjadi dasar dalam pengembangan strategi pembelajaran yang lebih kontekstual.

Berdasarkan uraian tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada upaya mendeskripsikan profil pemahaman siswa secara komprehensif pada materi evolusi resistensi terhadap antibiotik dengan menggabungkan tes pilihan ganda, tes esai, tes diagnostik *two-tier*, angket, dan wawancara. Pendekatan ini tidak hanya menggambarkan tingkat pemahaman siswa, tetapi juga mengidentifikasi subkonsep yang sulit dipahami, pola penalaran, miskonsepsi, serta faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan

profil pemahaman siswa pada materi evolusi resistensi terhadap antibiotik di SMA Negeri 1 Tanjung Morawa. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pembelajaran Biologi yang lebih kontekstual, membantu guru mengidentifikasi miskonsepsi siswa sejak dini, serta mendukung upaya peningkatan literasi sains terkait resistensi antibiotik sebagai salah satu isu kesehatan global.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode *mixed methods* melalui desain *sequential explanatory* dalam kerangka non-eksperimental *cross-sectional*. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai profil pemahaman siswa pada materi evolusi resistensi terhadap antibiotik melalui integrasi data kuantitatif dan kualitatif. Tahap pertama dilakukan pengumpulan dan analisis data kuantitatif, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data kualitatif untuk memperdalam serta menjelaskan temuan kuantitatif.

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 1 Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, pada semester genap Tahun Pelajaran 2025/2026. Populasi penelitian berjumlah 284 siswa kelas XII yang mengikuti mata pelajaran Biologi. Sampel penelitian sebanyak 143 siswa yang berasal dari kelas XII Merdeka 1, XII Merdeka 2, Kreatif, dan Inovatif. Penentuan sampel menggunakan teknik *purposive cluster sampling* dengan mempertimbangkan keseragaman guru pengampu sehingga proses pembelajaran yang diterima siswa relatif homogen.

Pengumpulan data dilakukan menggunakan lima instrumen, yaitu tes pilihan ganda, tes esai, tes diagnostik *two-tier*, angket, dan wawancara semi-terstruktur. Tes pilihan ganda sebanyak 50 butir digunakan untuk mengukur tingkat pemahaman konsep siswa terhadap materi evolusi resistensi terhadap antibiotik. Tes esai sebanyak 10 butir digunakan untuk memperoleh informasi yang lebih mendalam mengenai kemampuan siswa dalam menjelaskan konsep, menghubungkan antarkonsep, serta mengidentifikasi subkonsep yang masih sulit dipahami.

Tes diagnostik *two-tier* digunakan untuk mengidentifikasi tingkat pemahaman konsep, pola penalaran, dan miskonsepsi siswa. Penyusunan instrumen *two-tier* mengacu pada prinsip bahwa *tier* pertama mengukur penguasaan konsep, sedangkan *tier* kedua mengungkap alasan konseptual siswa sehingga mampu membedakan siswa yang memahami konsep dengan siswa yang mengalami miskonsepsi (Tasci, 2024). Penggunaan instrumen ini juga didasarkan pada keunggulannya dalam mengungkap penalaran ilmiah yang tidak dapat diidentifikasi melalui tes pilihan ganda konvensional (Anam & Gumilar, 2024). Selain itu, angket skala Likert digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa, sedangkan wawancara semi-terstruktur dilakukan terhadap beberapa siswa yang dipilih secara purposif berdasarkan kategori hasil tes untuk

memperdalam informasi mengenai pola penalaran, miskonsepsi, dan faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman.

Data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa skor, persentase, nilai rata-rata, dan distribusi frekuensi. Skor tes pilihan ganda dihitung berdasarkan jumlah jawaban benar, sedangkan tes esai dinilai menggunakan rubrik analitik yang meliputi ketepatan konsep, kualitas penalaran, keterkaitan antarkonsep, dan penggunaan istilah ilmiah. Hasil tes diagnostik *two-tier* dianalisis berdasarkan kombinasi jawaban pada *tier* pertama dan *tier* kedua untuk mengelompokkan siswa ke dalam kategori paham konsep, paham sebagian, miskonsepsi, dan tidak paham konsep. Persentase penguasaan setiap subkonsep digunakan untuk mengidentifikasi materi yang paling sulit dipahami oleh siswa.

Data angket dianalisis menggunakan skor skala Likert yang kemudian diubah ke dalam bentuk persentase untuk menggambarkan kecenderungan faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa. Sementara itu, data hasil wawancara dianalisis secara kualitatif melalui tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Analisis tersebut dilakukan untuk mengonfirmasi hasil kuantitatif sekaligus memberikan penjelasan yang lebih mendalam mengenai pola penalaran, bentuk miskonsepsi, serta faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa terhadap materi evolusi resistensi terhadap antibiotik. Sebelum digunakan pada penelitian utama, seluruh instrumen telah melalui uji validitas, reliabilitas, taraf kesukaran, dan daya pembeda sehingga dinyatakan layak digunakan sebagai instrumen penelitian. Hasil analisis kuantitatif dan kualitatif kemudian diintegrasikan untuk memperoleh gambaran yang lebih utuh mengenai tingkat pemahaman, pola penalaran, miskonsepsi, serta faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa terhadap materi evolusi resistensi terhadap antibiotik.

HASIL PENELITIAN

Tingkat Pemahaman Siswa pada Materi Evolusi Resistensi terhadap Antibiotik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemahaman siswa pada materi evolusi resistensi terhadap antibiotik masih bervariasi dan cenderung berada pada kategori sedang hingga rendah. Analisis dilakukan menggunakan tes pilihan ganda, tes esai, dan tes diagnostik *two-tier* sehingga memberikan gambaran mengenai penguasaan konsep siswa dari berbagai aspek. Berdasarkan hasil tes pilihan ganda, kategori kurang masih mendominasi pada sebagian besar kelas, sedangkan hasil tes esai menunjukkan bahwa sebagian besar siswa berada pada kategori cukup. Hasil tes diagnostik *two-tier* juga memperlihatkan bahwa persentase siswa yang benar-benar memahami konsep masih relatif rendah dibandingkan dengan siswa yang mengalami miskonsepsi maupun tidak memahami konsep. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar siswa belum mampu memahami konsep evolusi resistensi terhadap antibiotik secara menyeluruh.

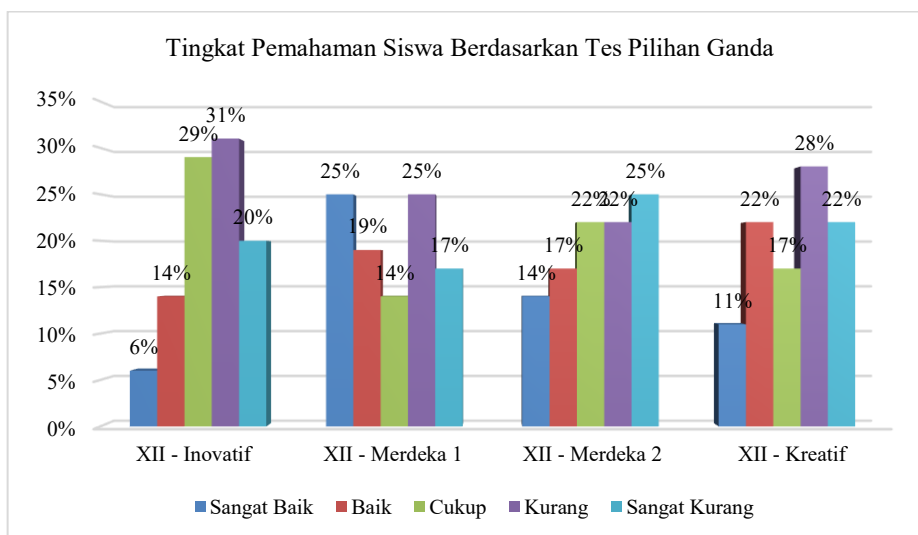
Data tingkat pemahaman siswa pada materi evolusi resistensi terhadap antibiotik disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tingkat Pemahaman Siswa Berdasarkan Hasil Tes Pilihan Ganda

Kelas	Sangat Baik	Baik	Cukup	Kurang	Sangat Kurang
XII - Inovatif	6%	14%	29%	31%	20%
XII - Merdeka 1	25%	19%	14%	25%	17%
XII - Merdeka 2	14%	17%	22%	22%	25%
XII - Kreatif	11%	22%	17%	28%	22%

Berdasarkan Tabel 1, tingkat pemahaman siswa berdasarkan tes pilihan ganda masih bervariasi pada setiap kelas. Kelas XII-Merdeka 1 memperoleh persentase kategori sangat baik tertinggi, yaitu 25%, sedangkan kelas XII-Inovatif memperoleh persentase kategori kurang tertinggi, yaitu 31%. Pada kelas XII-Merdeka 2, kategori sangat kurang mencapai 25%, sementara pada kelas XII-Kreatif kategori kurang mencapai 28%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemahaman siswa terhadap materi evolusi resistensi terhadap antibiotik belum merata dan masih didominasi oleh kategori cukup hingga sangat kurang pada beberapa kelas.

Visualisasi tingkat pemahaman siswa berdasarkan tes pilihan ganda disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Tingkat Pemahaman Siswa Berdasarkan Tes Pilihan Ganda

Berdasarkan Gambar 1, terlihat adanya perbedaan distribusi tingkat pemahaman antarkelas. Kelas XII-Merdeka 1 menunjukkan proporsi kategori sangat baik yang lebih tinggi, sedangkan kategori kurang dan sangat kurang tampak lebih dominan pada kelas XII-Inovatif, XII-Merdeka 2, dan XII-Kreatif. Visualisasi

tersebut memperkuat temuan bahwa penguasaan materi evolusi resistensi terhadap antibiotik masih perlu ditingkatkan.

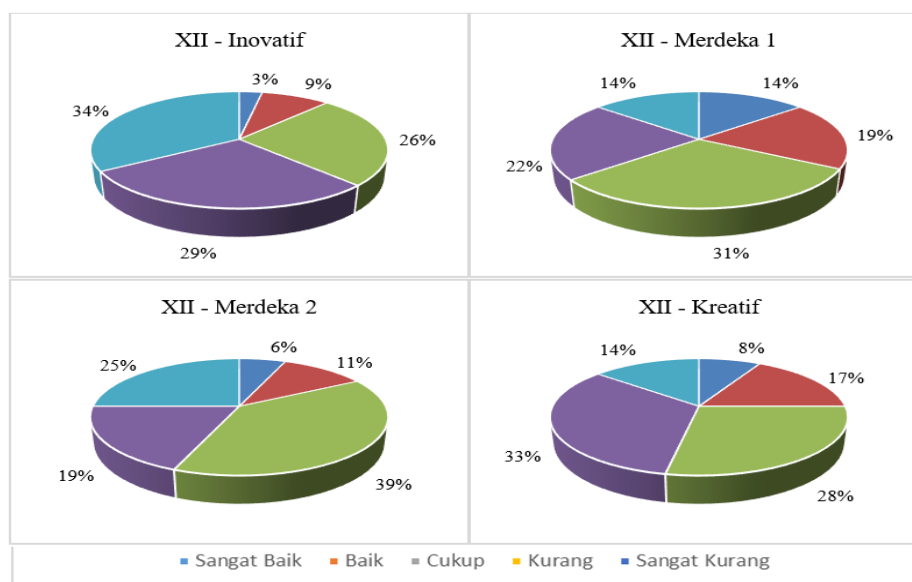
Tingkat pemahaman siswa berdasarkan hasil tes esai disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Tingkat Pemahaman Siswa Berdasarkan Hasil Tes Esai

Kelas	Persentase Pemahaman Essay				
	Sangat Baik	Baik	Cukup	Kurang	Sangat Kurang
XII - Inovatif	3%	9%	26%	29%	34%
XII - Merdeka 1	14%	19%	31%	22%	14%
XII - Merdeka 2	6%	11%	39%	19%	25%
XII - Kreatif	8%	17%	28%	33%	14%

Berdasarkan Tabel 2, hasil tes esai menunjukkan bahwa kemampuan siswa dalam menjelaskan konsep secara tertulis masih didominasi oleh kategori cukup, kurang, dan sangat kurang. Kelas XII-Merdeka 2 memperoleh persentase kategori cukup tertinggi, yaitu 39%, sedangkan kelas XII-Inovatif memperoleh persentase kategori sangat kurang tertinggi sebesar 34%. Kelas XII-Kreatif juga menunjukkan persentase kategori kurang yang cukup tinggi, yaitu 33%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sebagian siswa masih mengalami kesulitan dalam menyusun penjelasan ilmiah, menghubungkan antarkonsep, dan menggunakan bukti untuk mendukung jawabannya.

Visualisasi tingkat pemahaman siswa berdasarkan tes esai disajikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Tingkat Pemahaman Siswa Berdasarkan Tes Esai

Berdasarkan Gambar 2, kategori cukup hingga sangat kurang masih mendominasi hasil tes esai pada sebagian besar kelas. Dibandingkan hasil tes

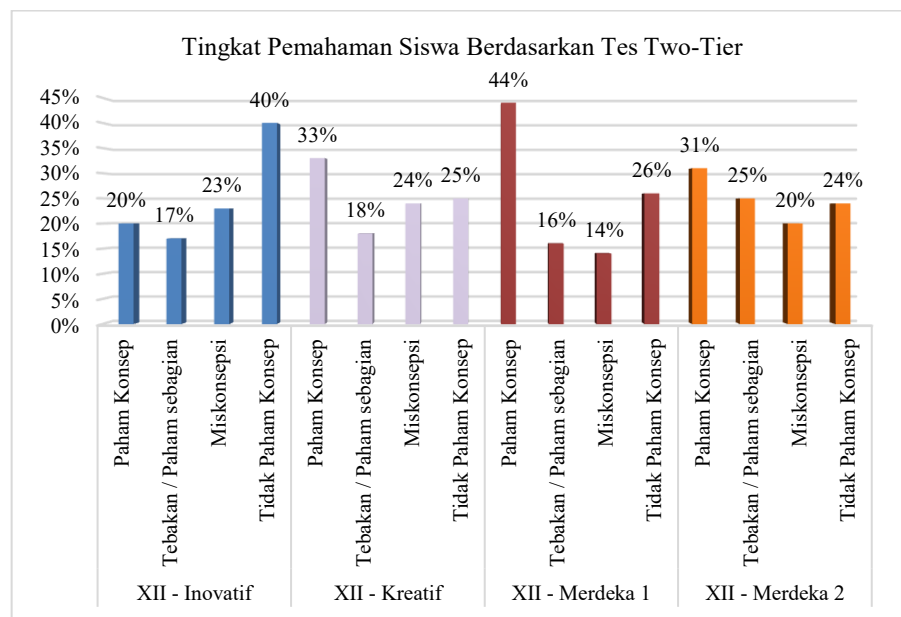
pilihan ganda, tes esai memperlihatkan kesulitan siswa secara lebih jelas karena siswa dituntut menguraikan konsep dan pola penalarannya secara mandiri.

Tingkat pemahaman siswa berdasarkan hasil tes diagnostik *two-tier* disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Tingkat Pemahaman Siswa Berdasarkan Hasil Tes Diagnostik *Two-Tier*

Kelas	Pemahaman	Persentase Pemahaman
XII – Inovatif	Paham Konsep	20%
	Tebakan / Paham sebagian	17%
	Miskonsepsi	23%
	Tidak Paham Konsep	40%
XII – Kreatif	Paham Konsep	33%
	Tebakan / Paham sebagian	18%
	Miskonsepsi	24%
	Tidak Paham Konsep	25%
XII - Merdeka 1	Paham Konsep	44%
	Tebakan / Paham sebagian	16%
	Miskonsepsi	14%
	Tidak Paham Konsep	26%
XII - Merdeka 2	Paham Konsep	31%
	Tebakan / Paham sebagian	25%
	Miskonsepsi	20%
	Tidak Paham Konsep	24%

Visualisasi tingkat pemahaman siswa berdasarkan tes diagnostik *two-tier* disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Tingkat Pemahaman Siswa Berdasarkan Tes Diagnostik *Two-Tier*

Berdasarkan Gambar 3, proporsi siswa yang mengalami miskonsepsi dan tidak memahami konsep masih ditemukan pada seluruh kelas. Kelas XII-Merdeka 1 memiliki proporsi paham konsep yang lebih tinggi, sedangkan kelas XII-Inovatif didominasi kategori tidak paham konsep. Visualisasi tersebut menegaskan bahwa pemahaman siswa perlu diperkuat, terutama dalam menghubungkan konsep genetika dan evolusi pada mekanisme terbentuknya resistensi antibiotik.

Subkonsep yang Sulit Dipahami Siswa

Analisis terhadap setiap subkonsep menunjukkan bahwa tingkat penguasaan siswa belum merata. Subkonsep yang paling sulit dipahami berkaitan dengan mutasi dan/atau transfer gen sebagai sumber sifat resisten serta dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat. Sebagian siswa belum mampu menjelaskan bagaimana mutasi dan transfer gen menghasilkan variasi genetik yang kemudian mengalami seleksi akibat paparan antibiotik.

Penguasaan konsep siswa pada setiap subkonsep berdasarkan tes diagnostik *two-tier* disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Penguasaan Konsep Siswa pada Setiap Subkonsep Berdasarkan Tes Diagnostik *Two-Tier*

XII - Inovatif	Paham konsep	Jumlah Siswa	Jumlah Pertanyaan	Penguasaan Konsep	Kategori
Pengertian Antibiotik Dan Resistensi Antibiotik	132	35	8	47%	Rendah
Variasi Dalam Populasi Bakteri	95	35	6	45%	Rendah
Mutasi Dan/Atau Transfer Gen Sebagai Sumber Sifat Resisten	136	35	10	39%	Sangat Rendah
Seleksi Alam Akibat Penggunaan Antibiotik	139	35	9	44%	Rendah
Perubahan Frekuensi Sifat Dalam Populasi Bakteri	112	35	8	40%	Rendah
Dampak Penggunaan Antibiotik Yang Tidak Tepat Dalam Kehidupan Nyata	119	35	9	38%	Sangat Rendah
XII - Kreatif	Paham konsep	Jumlah Siswa	Jumlah Pertanyaan	Penguasaan Konsep	Kategori
Pengertian Antibiotik Dan Resistensi Antibiotik	156	36	8	54%	Rendah
Variasi Dalam Populasi Bakteri	126	36	6	58%	Sedang
Mutasi Dan/Atau Transfer Gen Sebagai Sumber Sifat Resisten	189	36	10	53%	Rendah

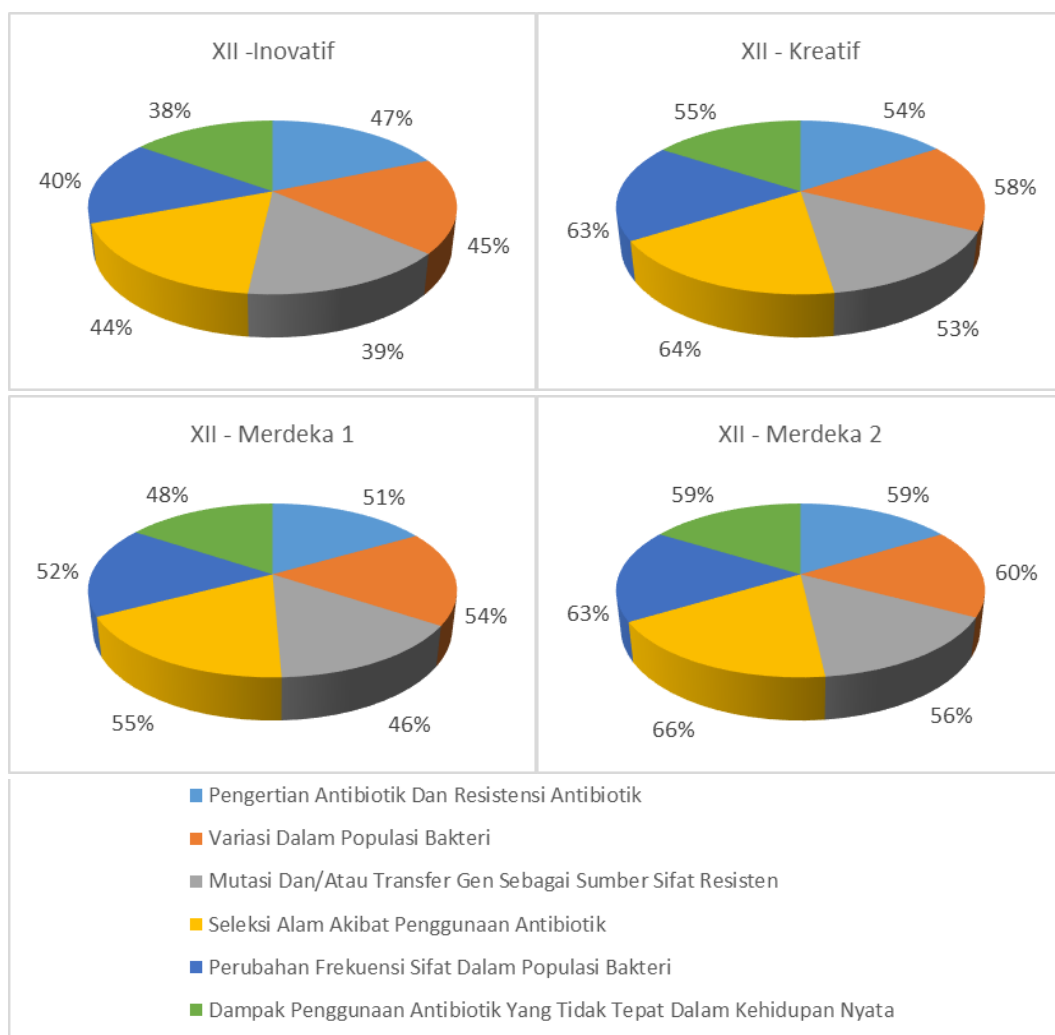
Seleksi Alam Akibat Penggunaan Antibiotik	206	36	9	64%	Sedang
Perubahan Frekuensi Sifat Dalam Populasi Bakteri	182	36	8	63%	Sedang
Dampak Penggunaan Antibiotik Yang Tidak Tepat Dalam Kehidupan Nyata	179	36	9	55%	Rendah
XII - Merdeka 1	Paham konsep	Jumlah Siswa	Jumlah Pertanyaan	Penguasaan Konsep	Kategori
Pengertian Antibiotik Dan Resistensi Antibiotik	148	36	8	51%	Rendah
Variasi Dalam Populasi Bakteri	116	36	6	54%	Rendah
Mutasi Dan/Atau Transfer Gen Sebagai Sumber Sifat Resistensi	164	36	10	46%	Rendah
Seleksi Alam Akibat Penggunaan Antibiotik	179	36	9	55%	Rendah
Perubahan Frekuensi Sifat Dalam Populasi Bakteri	149	36	8	52%	Rendah
Dampak Penggunaan Antibiotik Yang Tidak Tepat Dalam Kehidupan Nyata	156	36	9	48%	Rendah
XII - Merdeka 2	Paham konsep	Jumlah Siswa	Jumlah Pertanyaan	Penguasaan Konsep	Kategori
Pengertian Antibiotik Dan Resistensi Antibiotik	171	36	8	59%	Sedang
Variasi Dalam Populasi Bakteri	129	36	6	60%	Sedang
Mutasi Dan/Atau Transfer Gen Sebagai Sumber Sifat Resistensi	200	36	10	56%	Rendah
Seleksi Alam Akibat Penggunaan Antibiotik	214	36	9	66%	Sedang
Perubahan Frekuensi Sifat Dalam Populasi Bakteri	180	36	8	63%	Sedang
Dampak Penggunaan Antibiotik Yang Tidak Tepat Dalam Kehidupan Nyata	192	36	9	59%	Sedang

Berdasarkan Tabel 4, kelas XII-Inovatif menunjukkan penguasaan konsep terendah pada subkonsep dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat, yaitu 38%, dan mutasi dan/atau transfer gen sebagai sumber sifat resisten sebesar 39%. Kedua capaian tersebut termasuk kategori sangat rendah.

Pada kelas XII-Kreatif dan XII-Merdeka 1, subkonsep mutasi dan/atau transfer gen juga memperoleh capaian relatif rendah, masing-masing sebesar 53%

dan 46%. Sementara itu, kelas XII-Merdeka 2 memperoleh capaian tertinggi pada subkonsep seleksi alam akibat penggunaan antibiotik sebesar 66%. Secara umum, subkonsep mutasi dan/atau transfer gen menjadi salah satu materi yang konsisten memperoleh capaian rendah pada seluruh kelas.

Visualisasi penguasaan konsep siswa pada setiap subkonsep berdasarkan tes diagnostik *two-tier* disajikan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Diagram Penguasaan Konsep Siswa pada Setiap Subkonsep Berdasarkan Tes Diagnostik *Two-Tier*

Berdasarkan Gambar 4, penguasaan konsep siswa berbeda pada setiap kelas dan subkonsep. Konsep mutasi dan/atau transfer gen serta dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat cenderung memperoleh capaian lebih rendah. Sebaliknya, subkonsep seleksi alam memperoleh capaian relatif lebih tinggi, terutama pada kelas XII-Kreatif dan XII-Merdeka 2.

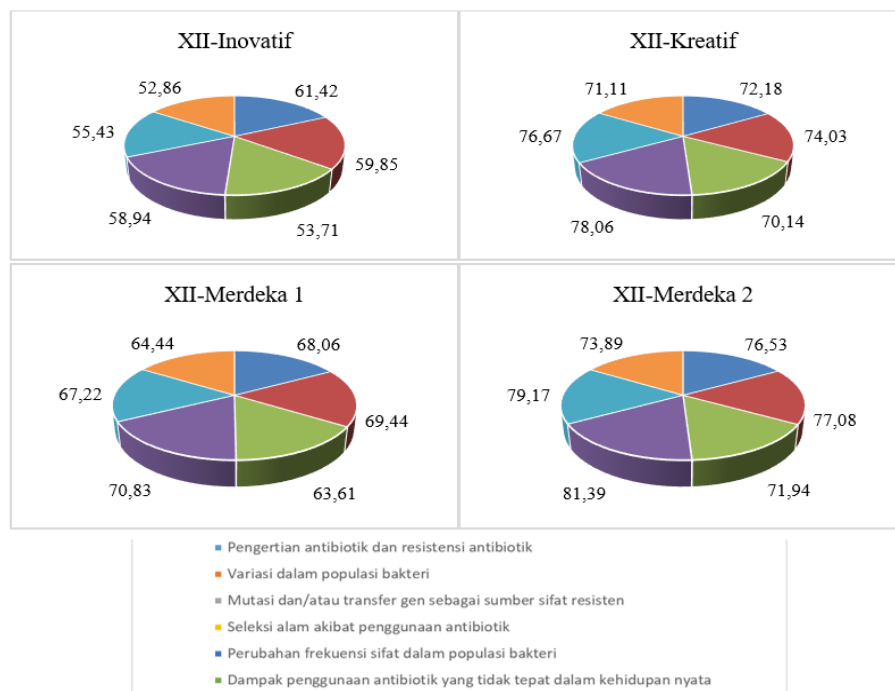
Rata-rata skor tes esai berdasarkan subkonsep disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rata-Rata Skor Tes Esai Berdasarkan Subkonsep

Subkonsep	XII-Inovatif	XII-Kreatif	XII-Merdeka 1	XII-Merdeka 2
Pengertian antibiotik dan resistensi antibiotik	61,42	72,18	68,06	76,53
Variasi dalam populasi bakteri	59,85	74,03	69,44	77,08
Mutasi dan/atau transfer gen sebagai sumber sifat resisten	53,71	70,14	63,61	71,94
Seleksi alam akibat penggunaan antibiotik	58,94	78,06	70,83	81,39
Perubahan frekuensi sifat dalam populasi bakteri	55,43	76,67	67,22	79,17
Dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat dalam kehidupan nyata	52,86	71,11	64,44	73,89

Berdasarkan Tabel 5, kelas XII-Merdeka 2 memperoleh rata-rata skor tertinggi pada seluruh subkonsep. Skor tertinggi terdapat pada subkonsep seleksi alam akibat penggunaan antibiotik sebesar 81,39. Sebaliknya, kelas XII-Inovatif memperoleh rata-rata skor terendah pada seluruh subkonsep, dengan capaian terendah sebesar 52,86 pada subkonsep dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat. Subkonsep mutasi dan/atau transfer gen juga memperoleh skor relatif rendah pada beberapa kelas. Temuan ini memperkuat hasil tes diagnostik *two-tier* bahwa konsep yang melibatkan mekanisme genetika dan kaitannya dengan evolusi masih sulit dijelaskan oleh siswa secara utuh.

Visualisasi rata-rata skor tes esai berdasarkan subkonsep disajikan pada Gambar 5 berikut.

**Gambar 5. Diagram Rata-Rata Skor Tes Esai Berdasarkan Subkonsep**

Berdasarkan Gambar 5, terlihat adanya perbedaan capaian antarkelas pada setiap subkonsep. Kelas XII-Merdeka 2 secara konsisten menunjukkan skor yang lebih tinggi, sedangkan kelas XII-Inovatif menunjukkan skor lebih rendah. Pola tersebut memperlihatkan bahwa kemampuan siswa dalam menguraikan hubungan antara mutasi, variasi genetik, seleksi alam, dan resistensi antibiotik belum berkembang secara merata.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa konsep-konsep abstrak masih menjadi kendala dalam proses pembelajaran. Oleh karena itu, pembelajaran memerlukan pendekatan yang lebih kontekstual dan didukung visualisasi mengenai proses mutasi, transfer gen, seleksi alam, dan perubahan frekuensi sifat dalam populasi bakteri.

Pola Penalaran dan Miskonsepsi Siswa

Hasil analisis tes diagnostik *two-tier* yang diperdalam melalui wawancara menunjukkan bahwa siswa masih mengalami miskonsepsi dalam menjelaskan mekanisme evolusi resistensi terhadap antibiotik. Sebagian siswa beranggapan bahwa bakteri menjadi kebal karena terbiasa terkena antibiotik atau bahwa antibiotik secara langsung menyebabkan mutasi pada bakteri. Sebagian siswa juga belum mampu menghubungkan konsep mutasi, seleksi alam, dan perubahan frekuensi sifat dalam populasi bakteri. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pola penalaran yang digunakan belum sepenuhnya sesuai dengan konsep ilmiah.

Persentase miskonsepsi siswa berdasarkan tes diagnostik *two-tier* disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Persentase Miskonsepsi Siswa Berdasarkan Hasil Tes Diagnostik *Two-Tier*

Kelas	Persentase Miskonsepsi
XII Inovatif	23%
XII Kreatif	24%
XII Merdeka 1	14%
XII Merdeka 2	20%

Berdasarkan Tabel 6, persentase miskonsepsi tertinggi terdapat pada kelas XII-Kreatif sebesar 24%, diikuti kelas XII-Inovatif sebesar 23%, kelas XII-Merdeka 2 sebesar 20%, dan kelas XII-Merdeka 1 sebesar 14%. Meskipun persentasenya berbeda, miskonsepsi masih ditemukan pada seluruh kelas. Temuan tersebut menunjukkan bahwa miskonsepsi pada konsep evolusi resistensi terhadap antibiotik perlu mendapatkan perhatian dalam pembelajaran. Pembelajaran perlu membantu siswa membedakan antara munculnya variasi genetik dan proses seleksi alam yang meningkatkan frekuensi sifat resisten dalam populasi bakteri.

Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pemahaman Siswa

Hasil angket dan wawancara menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mendukung pemahaman siswa meliputi relevansi materi dengan kehidupan sehari-

hari, penggunaan contoh kasus nyata, media visual, kegiatan diskusi, dan cara guru menjelaskan materi. Seluruh indikator angket memperoleh persentase tinggi hingga sangat tinggi. Hasil wawancara juga menunjukkan bahwa visualisasi dan contoh kontekstual membantu siswa memahami konsep yang bersifat abstrak.

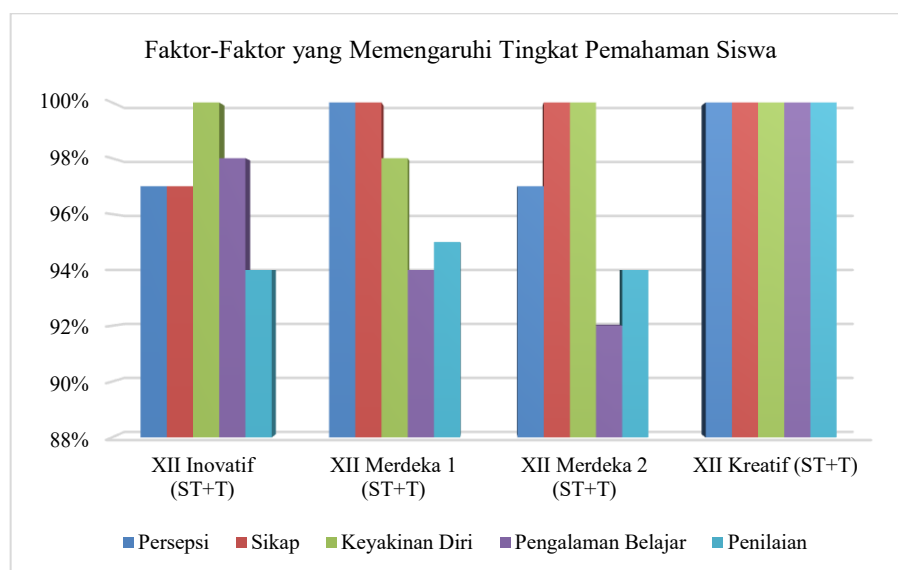
Hasil analisis faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa berdasarkan angket disajikan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Analisis Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pemahaman Siswa

Aspek	XII Inovatif (ST+T)	XII Merdeka 1 (ST+T)	XII Merdeka 2 (ST+T)	XII Kreatif (ST+T)
Persepsi	97%	100%	97%	100%
Sikap	97%	100%	100%	100%
Keyakinan Diri	100%	98%	100%	100%
Pengalaman Belajar	98%	94%	92%	100%
Penilaian	94%	95%	94%	100%

Berdasarkan Tabel 7, seluruh aspek memperoleh persentase antara 92% dan 100%. Aspek keyakinan diri memperoleh persentase 100% pada kelas XII-Inovatif, XII-Merdeka 2, dan XII-Kreatif, sedangkan kelas XII-Merdeka 1 memperoleh 98%. Kelas XII-Kreatif memperoleh persentase 100% pada seluruh aspek. Persentase terendah terdapat pada aspek pengalaman belajar kelas XII-Merdeka 2 sebesar 92%, tetapi tetap berada pada kategori tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa siswa memiliki persepsi, sikap, keyakinan diri, dan pengalaman belajar yang relatif positif. Namun, kondisi positif tersebut belum sepenuhnya diikuti penguasaan konsep yang tinggi.

Visualisasi faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman siswa disajikan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik Hasil Analisis Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pemahaman Siswa

Berdasarkan Gambar 6, seluruh aspek pendukung pemahaman memperoleh persentase tinggi pada setiap kelas. Hal ini menunjukkan bahwa faktor afektif dan persepsi siswa terhadap pembelajaran cenderung positif. Namun, tingginya respons pada angket perlu ditafsirkan secara hati-hati karena hasil tes masih menunjukkan adanya pemahaman rendah dan miskonsepsi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun siswa memiliki persepsi dan sikap positif terhadap pembelajaran, pemahaman terhadap mutasi, transfer gen, dan mekanisme evolusi resistensi antibiotik masih perlu ditingkatkan. Pembelajaran perlu memvisualisasikan proses biologis yang tidak dapat diamati secara langsung dan memberikan kesempatan kepada siswa untuk menghubungkan bukti, konsep genetika, dan mekanisme seleksi alam.

Tabel 8. Ringkasan Hasil Wawancara tentang Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pemahaman Siswa pada Materi Evolusi Resistensi Antibiotik

Aspek	Temuan Hasil Wawancara
Relevansi materi dengan kehidupan sehari-hari	Sebagian besar siswa menyatakan lebih mudah memahami materi ketika dikaitkan dengan penggunaan antibiotik yang sering mereka temui dalam kehidupan sehari-hari.
Penggunaan contoh kasus nyata	Contoh kasus resistensi antibiotik pada manusia dan bakteri membantu siswa memahami hubungan antara penggunaan antibiotik dan munculnya sifat resisten.
Media visual	Gambar, animasi, diagram, dan ilustrasi proses resistensi antibiotik membantu siswa memahami konsep abstrak seperti mutasi, transfer gen, dan seleksi alam.
Kegiatan diskusi	Diskusi kelompok dan tanya jawab memberi kesempatan siswa untuk membandingkan pemahaman, mengklarifikasi konsep, dan memperbaiki kesalahan pemikiran.
Cara guru menjelaskan materi	Penjelasan guru yang sistematis, menggunakan bahasa sederhana dan contoh kontekstual, membantu siswa memahami hubungan antara genetika dan evolusi.
Kesulitan memahami mutasi dan transfer gen	Banyak siswa mengaku masih kesulitan membayangkan bagaimana mutasi atau transfer gen menghasilkan sifat resisten pada bakteri karena prosesnya tidak dapat diamati secara langsung.
Kesulitan menghubungkan konsep	Sebagian siswa belum mampu menghubungkan konsep mutasi, variasi genetik, seleksi alam, dan perubahan frekuensi sifat dalam populasi bakteri menjadi satu proses evolusi yang utuh.
Miskonsepsi yang masih ditemukan	Beberapa siswa masih beranggapan bahwa antibiotik menyebabkan bakteri bermutasi, bakteri menjadi kebal karena terbiasa terkena antibiotik, atau tubuh manusia menjadi resisten terhadap antibiotik.
Strategi pembelajaran yang diharapkan siswa	Siswa mengharapkan pembelajaran menggunakan video, simulasi, animasi, studi kasus, dan kegiatan praktikum sederhana agar konsep lebih mudah dipahami.
Faktor pendukung utama pemahaman	Kombinasi media visual, contoh nyata, diskusi, dan penjelasan guru yang kontekstual merupakan faktor yang paling sering disebut siswa sebagai pendukung pemahaman.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun siswa memiliki persepsi dan sikap yang positif terhadap pembelajaran, pemahaman terhadap konsep mutasi dan transfer gen masih perlu ditingkatkan. Oleh karena itu, pembelajaran evolusi resistensi terhadap antibiotik memerlukan strategi yang

mampu memvisualisasikan proses-proses biologis yang tidak dapat diamati secara langsung sehingga siswa dapat membangun hubungan antarkonsep secara lebih utuh.

PEMBAHASAN

Tingkat Pemahaman Siswa pada Materi Evolusi Resistensi terhadap Antibiotik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemahaman siswa terhadap materi evolusi resistensi terhadap antibiotik masih bervariasi dan secara umum berada pada kategori sedang hingga rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar siswa belum mampu mengintegrasikan konsep-konsep dasar evolusi, seperti mutasi, transfer gen, dan seleksi alam, dalam menjelaskan mekanisme terbentuknya resistensi antibiotik. Padahal, konsep-konsep tersebut merupakan dasar ilmiah untuk menjelaskan perubahan yang terjadi pada populasi bakteri akibat tekanan seleksi dari penggunaan antibiotik.

Rendahnya tingkat pemahaman siswa dapat berkaitan dengan karakteristik materi evolusi yang bersifat abstrak. Siswa tidak dapat mengamati secara langsung proses mutasi, transfer gen horizontal, maupun perubahan frekuensi gen dalam populasi bakteri. Kondisi tersebut menyebabkan siswa cenderung membangun pemahaman berdasarkan pengalaman sehari-hari atau pengetahuan awal yang belum sesuai dengan konsep ilmiah. Akibatnya, siswa lebih mudah menghafal konsep secara terpisah daripada memahami hubungan sebab-akibat yang terjadi dalam proses evolusi resistensi antibiotik.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Ambusaidi et al. (2022), yang melaporkan bahwa pemahaman siswa sekolah menengah mengenai antibiotik dan resistensi antibiotik masih tergolong rendah serta disertai berbagai miskonsepsi. Sebagian siswa masih meyakini bahwa antibiotik efektif untuk mengatasi infeksi virus dan menganggap tubuh manusia, bukan bakteri, yang menjadi resisten terhadap antibiotik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pemahaman mengenai resistensi antibiotik masih menjadi tantangan pada berbagai jenjang pendidikan dan konteks pembelajaran.

Temuan penelitian ini juga didukung oleh Sharma et al. yang menunjukkan bahwa sebagian siswa sekolah menengah masih memiliki pengetahuan yang kurang memadai mengenai penggunaan antibiotik. Sebagian siswa menganggap antibiotik dapat digunakan untuk mengobati batuk dan pilek serta penggunaannya dapat dihentikan ketika gejala penyakit mulai berkurang. Kesalahan pemahaman tersebut menunjukkan bahwa siswa belum memahami hubungan antara penggunaan antibiotik yang tidak tepat dan berkembangnya resistensi bakteri. Kondisi ini memperkuat hasil penelitian bahwa pemahaman siswa tidak hanya ditentukan oleh penguasaan konsep evolusi, tetapi juga oleh pengetahuan mengenai penggunaan antibiotik secara rasional.

Di sisi lain, hasil penelitian ini berbeda dengan temuan Nadar et al. (2025), yang melaporkan adanya peningkatan pemahaman siswa secara signifikan setelah mengikuti pembelajaran berbasis *One Health*, *Team-Based Learning*, dan praktikum mikrobiologi. Perbedaan hasil tersebut diduga berkaitan dengan strategi pembelajaran yang digunakan. Dalam penelitian tersebut, siswa memperoleh pengalaman belajar yang kontekstual dan berpusat pada peserta didik sehingga mampu menghubungkan konsep evolusi dengan fenomena resistensi antibiotik dalam kehidupan nyata. Sebaliknya, pembelajaran yang masih didominasi oleh penyampaian materi secara teoretis dapat menyebabkan siswa mengalami kesulitan dalam membangun hubungan antarkonsep.

Hasil penelitian ini juga konsisten dengan Freeman et al. (2023), yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis pengalaman laboratorium melalui *Course-Based Undergraduate Research Experience* (CURE) mampu meningkatkan kemampuan peserta didik dalam menjelaskan hubungan antara mutasi, perubahan fenotipe, dan peningkatan *fitness* bakteri selama proses evolusi resistensi antibiotik. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa pembelajaran yang memberikan pengalaman penyelidikan secara langsung lebih mampu mendukung terbentuknya pemahaman konseptual dibandingkan pembelajaran yang hanya berorientasi pada penyampaian informasi.

Berdasarkan temuan penelitian dan hasil penelitian terdahulu, rendahnya tingkat pemahaman siswa tidak hanya berkaitan dengan kompleksitas materi, tetapi juga dengan strategi pembelajaran yang belum sepenuhnya memfasilitasi siswa dalam membangun konsep secara bermakna. Oleh karena itu, pembelajaran evolusi resistensi terhadap antibiotik perlu dikembangkan melalui pendekatan yang lebih kontekstual dengan memanfaatkan studi kasus, media visual, simulasi proses evolusi, dan kegiatan diskusi. Strategi tersebut dapat membantu siswa menghubungkan konsep mutasi, transfer gen, seleksi alam, dan perkembangan resistensi antibiotik secara terpadu.

Subkonsep yang Sulit Dipahami Siswa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa subkonsep yang paling sulit dipahami siswa adalah mutasi dan/atau transfer gen sebagai sumber sifat resisten serta dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat terhadap perkembangan resistensi antibiotik. Temuan ini menunjukkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam menghubungkan konsep genetika dengan mekanisme evolusi sehingga proses terbentuknya resistensi antibiotik belum dipahami secara utuh.

Sebagian besar siswa telah mengetahui bahwa bakteri dapat menjadi resisten, tetapi belum mampu menjelaskan bagaimana variasi genetik melalui mutasi atau transfer gen horizontal menghasilkan sifat resisten yang kemudian dipertahankan melalui seleksi alam. Siswa juga belum sepenuhnya memahami bahwa antibiotik tidak secara langsung menghasilkan sifat resisten, tetapi bertindak sebagai tekanan seleksi terhadap variasi yang telah terdapat dalam populasi bakteri.

Kesulitan tersebut dapat dipahami karena mutasi dan transfer gen merupakan proses biologis yang berlangsung pada tingkat seluler dan molekuler serta tidak dapat diamati secara langsung. Akibatnya, siswa cenderung membangun konsep berdasarkan pengetahuan awal atau pengalaman sehari-hari tanpa didukung pemahaman ilmiah yang memadai. Berdasarkan teori evolusi, mutasi menghasilkan variasi genetik yang bersifat acak, sedangkan penggunaan antibiotik berperan sebagai tekanan seleksi. Dalam kondisi tersebut, bakteri yang memiliki sifat resisten dapat bertahan hidup dan berkembang biak sehingga frekuensi sifat resisten meningkat dalam populasi.

Temuan penelitian ini sejalan dengan Richard et al. (2017), yang melaporkan bahwa siswa sering menggunakan penalaran intuitif ketika menjelaskan resistensi antibiotik. Sebagian siswa menganggap bahwa bakteri berubah menjadi resisten karena berusaha menyesuaikan diri atau membutuhkan sifat tersebut agar dapat bertahan hidup. Pola penalaran tersebut menunjukkan bahwa siswa belum memahami resistensi sebagai hasil seleksi terhadap variasi genetik yang telah ada sebelumnya, bukan sebagai perubahan yang sengaja dilakukan oleh bakteri.

Hasil penelitian ini juga didukung oleh Aptyka et al. (2022), yang menunjukkan bahwa materi evolusi rentan menimbulkan miskonsepsi karena siswa mengalami kesulitan menerapkan konsep seleksi alam pada fenomena nyata. Penggunaan pembelajaran kontekstual yang disertai klarifikasi terhadap miskonsepsi dapat membantu meningkatkan kemampuan siswa dalam menjelaskan proses seleksi alam secara lebih ilmiah. Dengan demikian, penggunaan kasus resistensi antibiotik dapat membantu siswa memahami hubungan antara variasi genetik, tekanan seleksi, kelangsungan hidup, dan perubahan populasi.

Freeman et al. (2023) juga menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis penelitian melalui CURE mampu meningkatkan pemahaman mengenai hubungan antara mutasi genetik, perubahan fenotipe, dan peningkatan *fitness* bakteri selama evolusi resistensi antibiotik. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa keterlibatan peserta didik dalam kegiatan penyelidikan dapat membantu memperjelas konsep-konsep abstrak yang sulit dipahami melalui pembelajaran berbasis ceramah.

Selain itu, Nadar et al. (2025) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *One Health*, *Team-Based Learning*, dan praktikum mikrobiologi dapat meningkatkan pemahaman siswa mengenai mekanisme kerja antibiotik, seleksi alam, dan perkembangan resistensi antibiotik. Meskipun demikian, penelitian tersebut masih menemukan miskonsepsi pada beberapa subkonsep, terutama dalam membedakan bakteri sensitif dan bakteri resisten. Temuan tersebut menunjukkan bahwa evolusi resistensi antibiotik memiliki kompleksitas yang tinggi sehingga memerlukan strategi pembelajaran yang mengintegrasikan teori dengan pengalaman belajar langsung.

Berdasarkan hasil penelitian dan penelitian terdahulu, kesulitan siswa dalam memahami mutasi, transfer gen, dan seleksi alam tidak hanya disebabkan oleh

kompleksitas materi, tetapi juga oleh keterbatasan kesempatan untuk memvisualisasikan proses biologis pada tingkat seluler dan molekuler. Oleh karena itu, pembelajaran perlu memanfaatkan media visual, animasi, simulasi komputer, praktikum sederhana, dan studi kasus berbasis permasalahan nyata. Penggunaan strategi tersebut diharapkan membantu siswa memahami hubungan antara variasi genetik, tekanan seleksi, dan terbentuknya resistensi antibiotik secara lebih komprehensif.

Pola Penalaran dan Miskonsepsi Siswa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa masih mengalami berbagai miskonsepsi dalam menjelaskan mekanisme evolusi resistensi terhadap antibiotik. Berdasarkan hasil tes diagnostik *two-tier* dan wawancara, sebagian siswa beranggapan bahwa bakteri menjadi resisten karena terbiasa terpapar antibiotik, antibiotik secara langsung menyebabkan mutasi pada bakteri, atau seluruh bakteri berubah menjadi resisten secara bersamaan setelah pemberian antibiotik.

Pola penalaran tersebut menunjukkan bahwa siswa belum mampu membedakan penyebab munculnya variasi genetik dengan proses seleksi alam yang mempertahankan bakteri resisten dalam suatu populasi. Mutasi dan transfer gen horizontal menghasilkan atau menyebarkan variasi genetik, sedangkan antibiotik menyeleksi variasi tersebut dengan membunuh bakteri yang sensitif dan memberikan peluang kepada bakteri resisten untuk bertahan hidup serta berkembang biak.

Miskonsepsi tersebut muncul karena siswa cenderung menggunakan penalaran berdasarkan pengalaman sehari-hari atau *intuitive reasoning*. Dalam kehidupan sehari-hari, seseorang dapat menjadi lebih terampil setelah terbiasa melakukan suatu aktivitas. Siswa kemudian menggeneralisasikan pola berpikir tersebut pada bakteri dengan menganggap bahwa bakteri menjadi kebal karena belajar, beradaptasi, atau terbiasa terhadap antibiotik.

Padahal, berdasarkan konsep evolusi, resistensi terjadi karena sebagian bakteri telah memiliki karakteristik genetik yang mendukung kemampuan bertahan hidup melalui mutasi atau transfer gen horizontal. Ketika antibiotik diberikan, bakteri sensitif cenderung mati, sedangkan bakteri yang memiliki gen resistensi dapat bertahan hidup dan berkembang biak. Proses tersebut menyebabkan proporsi bakteri resisten meningkat dalam populasi.

Temuan penelitian ini sejalan dengan Richard et al. (2017), yang menyatakan bahwa siswa sering menggunakan *need-based reasoning* dan *use/disuse reasoning* dalam menjelaskan resistensi antibiotik. Siswa menganggap bahwa bakteri mengubah dirinya karena membutuhkan sifat tertentu agar dapat bertahan hidup. Penalaran tersebut bertentangan dengan konsep evolusi modern yang menekankan bahwa mutasi terjadi secara acak dan seleksi alam bekerja terhadap variasi yang telah ada dalam populasi.

Temuan serupa dilaporkan oleh Pickett et al. (2022), yang menemukan bahwa siswa masih mengalami miskonsepsi mengenai penyebab resistensi

antibiotik meskipun telah memperoleh pembelajaran sebelumnya. Kegiatan membaca ilmiah yang disertai klarifikasi terhadap miskonsepsi mampu memperbaiki pemahaman siswa. Hal ini menunjukkan bahwa miskonsepsi tidak mudah diperbaiki hanya melalui penyampaian informasi, tetapi membutuhkan strategi pembelajaran yang secara eksplisit mengidentifikasi, membandingkan, dan memperbaiki konsep yang keliru.

Hasil penelitian ini juga konsisten dengan Ambusaidi et al. (2022), yang menunjukkan bahwa sebagian siswa sekolah menengah masih memiliki miskonsepsi mengenai penggunaan antibiotik. Sebagian siswa menganggap antibiotik dapat digunakan untuk mengobati infeksi virus, sedangkan sebagian lainnya meyakini bahwa tubuh manusia menjadi resisten terhadap antibiotik. Kesalahan tersebut memperlihatkan bahwa pemahaman mengenai objek yang mengalami resistensi dan mekanisme terbentuknya resistensi belum berkembang secara ilmiah.

Azevedo (2024) juga melaporkan adanya miskonsepsi mengenai resistensi antibiotik, terutama berkaitan dengan penyebab munculnya resistensi dan penggunaan antibiotik yang tepat. Temuan tersebut menunjukkan bahwa miskonsepsi peserta didik dapat berkaitan dengan proses pembelajaran yang belum sepenuhnya menekankan pemahaman konseptual. Oleh karena itu, guru memiliki peran penting dalam mengidentifikasi dan memperbaiki miskonsepsi sejak awal pembelajaran.

Penggunaan tes diagnostik *two-tier* dalam penelitian ini mampu mengidentifikasi pola penalaran siswa secara lebih mendalam dibandingkan tes pilihan ganda konvensional. Tes tersebut tidak hanya mengukur ketepatan jawaban, tetapi juga alasan yang mendasari jawaban sehingga mampu membedakan siswa yang memahami konsep, memahami sebagian, mengalami miskonsepsi, atau tidak memahami konsep (Chandrasegaran et al., 2007). Tes diagnostik juga dapat membantu mengungkap struktur pengetahuan dan konsepsi alternatif yang dimiliki siswa (Gurel et al., 2015).

Berdasarkan hasil penelitian dan penelitian terdahulu, miskonsepsi mengenai evolusi resistensi antibiotik terutama berkaitan dengan ketidakmampuan siswa menghubungkan mutasi, transfer gen horizontal, dan seleksi alam dalam satu kesatuan proses evolusi. Oleh karena itu, pembelajaran perlu dirancang untuk mendorong perubahan konseptual atau *conceptual change*. Strategi yang dapat digunakan antara lain pembelajaran berbasis masalah, simulasi evolusi, analisis studi kasus resistensi antibiotik, dan penggunaan tes diagnostik *two-tier* sebagai evaluasi formatif. Dengan strategi tersebut, siswa diharapkan tidak hanya mengingat fakta, tetapi juga membangun pemahaman ilmiah yang lebih utuh.

Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pemahaman Siswa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemahaman siswa terhadap materi evolusi resistensi terhadap antibiotik dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkaitan dengan proses pembelajaran dan karakteristik materi. Berdasarkan hasil

angket dan wawancara, faktor yang mendukung pemahaman siswa meliputi relevansi materi dengan kehidupan sehari-hari, penggunaan contoh kasus nyata, media visual, kegiatan diskusi, serta cara guru menjelaskan materi.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pemahaman konsep tidak hanya ditentukan oleh kemampuan kognitif siswa, tetapi juga oleh pengalaman belajar yang diperoleh selama proses pembelajaran. Materi evolusi resistensi antibiotik memiliki karakteristik kompleks karena mengintegrasikan konsep genetika, mikrobiologi, dan evolusi. Kompleksitas tersebut menyebabkan siswa memerlukan bantuan berupa visualisasi dan contoh kontekstual agar dapat menghubungkan setiap konsep secara logis.

Ketika materi dikaitkan dengan fenomena yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, seperti penggunaan antibiotik untuk mengobati infeksi, penghentian konsumsi antibiotik sebelum waktunya, atau penyebaran bakteri resisten, proses pembentukan konsep dapat berlangsung lebih mudah. Sebaliknya, pembelajaran yang hanya berorientasi pada hafalan teori dapat menyebabkan siswa memahami konsep secara terpisah tanpa mampu menjelaskan hubungan antarkonsep.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Nadar et al. (2025), yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *One Health*, *Team-Based Learning*, dan praktikum mikrobiologi mampu meningkatkan pemahaman siswa mengenai evolusi resistensi antibiotik. Pendekatan tersebut memberikan kesempatan kepada siswa untuk menghubungkan konsep evolusi dengan permasalahan kesehatan, lingkungan, dan kehidupan sehari-hari sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna. Strategi tersebut juga mampu meningkatkan keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran.

Temuan penelitian ini didukung oleh Qenab et al. (2024), yang melaporkan bahwa program edukasi mengenai resistensi antibiotik dapat meningkatkan pengetahuan dan kesadaran siswa sekolah menengah. Peningkatan tersebut terjadi karena materi disampaikan melalui pendekatan edukatif yang dekat dengan kehidupan siswa sehingga konsep yang sebelumnya dianggap sulit menjadi lebih mudah dipahami.

Hasil serupa ditemukan oleh Yesmin et al. (2025), yang menunjukkan bahwa intervensi edukasi mengenai resistensi antibiotik mampu meningkatkan pengetahuan siswa setelah mengikuti kegiatan pembelajaran. Almutairi et al. (2023) juga menunjukkan bahwa edukasi kesehatan dalam waktu yang relatif singkat dapat meningkatkan pengetahuan sekaligus mengurangi miskonsepsi siswa mengenai resistensi antibiotik.

Koendhori et al. (2024) melaporkan bahwa penyuluhan mengenai penggunaan antibiotik secara bijak mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap penyebab, mekanisme, dan dampak resistensi antibiotik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas dan relevansi strategi pembelajaran berperan penting dalam membantu siswa memahami konsep, meskipun kegiatan pembelajaran dilakukan dalam waktu yang terbatas.

Selain strategi pembelajaran, hasil wawancara menunjukkan bahwa media visual, seperti gambar, animasi, ilustrasi proses mutasi, dan simulasi seleksi alam, membantu siswa memahami konsep yang tidak dapat diamati secara langsung. Visualisasi dapat membantu siswa membangun gambaran mengenai hubungan antara mutasi, transfer gen, tekanan antibiotik, seleksi alam, dan perubahan populasi bakteri secara lebih sistematis.

Secara keseluruhan, peningkatan pemahaman siswa mengenai evolusi resistensi terhadap antibiotik memerlukan pembelajaran yang tidak hanya berfokus pada penyampaian konsep, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang bermakna. Guru dapat memanfaatkan pembelajaran berbasis masalah, pembelajaran kontekstual, media visual, simulasi digital, praktikum sederhana, dan diskusi berbasis studi kasus. Strategi tersebut diharapkan membantu siswa membangun hubungan antarkonsep secara lebih utuh sehingga pemahaman meningkat dan miskonsepsi dapat diminimalkan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemahaman siswa SMA Negeri 1 Tanjung Morawa terhadap materi evolusi resistensi terhadap antibiotik masih bervariasi dan secara umum berada pada kategori sedang hingga rendah. Subkonsep yang paling sulit dipahami adalah mutasi dan/atau transfer gen sebagai sumber sifat resisten serta dampak penggunaan antibiotik yang tidak tepat terhadap perkembangan resistensi bakteri.

Pola penalaran siswa terdiri atas penalaran ilmiah, penalaran campuran, dan penalaran nonilmiah. Siswa dengan tingkat pemahaman yang lebih tinggi cenderung mampu menjelaskan hubungan antara variasi genetik, mutasi, transfer gen, seleksi alam, dan perubahan populasi secara ilmiah. Sebaliknya, siswa dengan tingkat pemahaman yang lebih rendah masih menunjukkan miskonsepsi, seperti anggapan bahwa antibiotik secara langsung menyebabkan bakteri bermutasi, bakteri menjadi resisten karena terbiasa terpapar antibiotik, atau tubuh manusia menjadi kebal terhadap antibiotik.

Pemahaman siswa dipengaruhi oleh persepsi, sikap, keyakinan diri atau *self-efficacy*, pengalaman belajar, dan kualitas pembelajaran. Relevansi materi dengan kehidupan sehari-hari, penggunaan contoh kasus nyata, media visual, diskusi, dan penjelasan guru yang sistematis menjadi faktor yang mendukung terbentuknya pemahaman konsep.

Berdasarkan temuan tersebut, pembelajaran evolusi resistensi terhadap antibiotik perlu dirancang secara lebih kontekstual, visual, dan berorientasi pada perubahan konseptual. Penggunaan pembelajaran berbasis masalah, studi kasus, simulasi proses evolusi, praktikum sederhana, diskusi, dan tes diagnostik *two-tier* sebagai evaluasi formatif dapat dipertimbangkan untuk membantu siswa mengintegrasikan konsep genetika, mikrobiologi, dan evolusi serta mengurangi miskonsepsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Albadrani, R. K., Alyenbawi, A. H., Albalawi, M., Obidan, A., Alwabsi, H. A., Khateeb, S., Aly, A. S., & Mohamed, M. S. (2025). Assessment of knowledge, attitudes, and practices of antibiotic resistance among university students in Saudi Arabia. *BMC Research Notes*, 18, Article 161. <https://doi.org/10.1186/s13104-025-07241-z>
- Ambusaidi, A., Taylor, N., Quinn, F., Rizk, N., & Taylor, S. (2022). Omani senior secondary school students' knowledge of and attitudes to antibiotic resistance. *PLOS ONE*, 17(2), e0264500. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264500>
- Anam, R. S., & Gumilar, S. (2024). A systematic literature review of tier tests as diagnostic tools in specific areas of science. *Tadris: Jurnal Keguruan dan Ilmu Tarbiyah*, 9(1), 255–270. <https://doi.org/10.24042/tadris.v9i1.17717>
- Antimicrobial Resistance Collaborators. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: A systematic analysis. *The Lancet*, 399(10325), 629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Aptyka, H., Fiedler, D., & Großschedl, J. (2022). Effects of situated learning and clarification of misconceptions on contextual reasoning about natural selection. *Evolution: Education and Outreach*, 15, Article 5. <https://doi.org/10.1186/s12052-022-00163-5>
- Azevedo, M. M., Gonçalves, A., Osório, N. S., & Baltazar, F. (2024). Antibiotic resistance: Assessing knowledge and misconceptions among Portuguese students and science teachers. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 52(6), 612–620. <https://doi.org/10.1002/bmb.21849>
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293–307. <https://doi.org/10.1039/B7RP90006F>
- Erwiyani, A. R., Sunnah, I., & Karminingtyas, S. R. (2023). Sosialisasi penggunaan antibiotik dan pencegahan resistensi pada siswa SMK PGRI 1 Salatiga. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 3(6), 1671–1676. <https://doi.org/10.54082/jamsi.989>
- Ghifari, A. A. A., Fitri, D. R., Vanency, G. J., Yulianti, A. P., Septiani, C., & Lestari, Y. (2025). Penyuluhan bahaya resistensi antibiotik pada siswa SMK-98 Al-Fakhriyah Desa Banjarsari Ciawi Bogor. *Jurnal JAMAS*, 3(2), 878–884.
- Gurel, D. K., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). A review and comparison of diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5), 989–1008. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1369a>

- Koendhori, E. B., Endraswari, P., Muna, N. M., & Kusumaningrum, D. (2024). Tingkat pengetahuan, sikap, dan perilaku tentang resistensi antibiotik pada siswa Madrasah Aliyah Negeri 3 Banyuwangi, Indonesia. *Jurnal Abdi Insani*, 11(4), 2663–2671.
- Nadar, S., Brown, J. C., Coe, L. S. Y., Koukoulidis, N. M., Czyż, E. M., & Czyż, D. M. (2025). Antimicrobial resistance and One Health in the high school biology curriculum. *Journal of Microbiology & Biology Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00145-25>
- Oktianti, D., & Hati, A. K. (2023). Edukasi penggunaan antibiotik pada siswa di SMK Nusapersada dan SMK Bhakti Nusantara untuk mencegah terjadinya resistensi. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 3(4), 1181–1186. <https://doi.org/10.54082/jamsi.819>
- Pickett, S. B., Nielson, C., Marshall, H., Tanner, K. D., & Coley, J. D. (2022). Effects of reading interventions on student understanding of and misconceptions about antibiotic resistance. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 23(1), e00220-21. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00220-21>
- Rahardiantini, I., Wanda, A. C., & Ernawati. (2024). Pencegahan resistensi antibiotik melalui edukasi kesehatan pada siswa SMPN 5 Tanjungpinang, Kepulauan Riau. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 4(6), 1491–1496. <https://doi.org/10.54082/jamsi.1406>
- Richard, M., Coley, J. D., & Tanner, K. D. (2017). Investigating undergraduate students' use of intuitive reasoning and evolutionary knowledge in explanations of antibiotic resistance. *CBE—Life Sciences Education*, 16(3), Article ar55. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-11-0317>
- Tasci, G. (2024). Development of a two-tier diagnostic test to assess misconceptions about biology concepts at primary school. *Science Insights Education Frontiers*, 25(2), 4099–4122. <https://doi.org/10.15354/sief.24.or652>