

## **Analisis Deskriptif Pemahaman Konseptual Pewarisan Sifat Mendel pada Mahasiswa Calon Guru IPA**

**Ayu Lestari<sup>a,\*</sup>, Harsi Admawati<sup>b</sup>, Rina Rahayu<sup>c</sup>**

<sup>a,b,c</sup>Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

\*email: [ayulest@untidar.ac.id](mailto:ayulest@untidar.ac.id)

**Abstrak.** Konsep pewarisan sifat merupakan salah satu konsep fundamental dalam pembelajaran genetika yang perlu dipahami oleh mahasiswa calon guru IPA. Namun, karakteristik konsep yang abstrak dan perlu penalaran yang mendalam menyebabkan pemahaman konseptual mahasiswa cenderung rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara deskriptif pemahaman konseptual pewarisan sifat Mendel mahasiswa calon guru IPA. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan subjek penelitian sejumlah 40 mahasiswa calon guru IPA yang telah menempuh mata kuliah genetika makhluk hidup. Instrumen yang digunakan adalah tes uraian dengan mengacu pada 4 subkonsep pewarisan sifat Mendel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata secara keseluruhan pemahaman konseptual mahasiswa calon guru IPA mencapai 47,22% pada kategori sedang. Hasil ini mengindikasikan bahwa terdapat lebih dari separuh mahasiswa yang belum memiliki pemahaman konseptual yang memadai terkait konsep pewarisan sifat Mendel, sehingga perlu ada perhatian yang lebih besar dalam proses pembelajaran konsep ini sebagai upaya untuk mengoptimalkan tujuan pembelajaran dan kualitas pendidikan di Indonesia.

**Kata Kunci:** pemahaman konseptual, mendel, pewarisan sifat

### **PENDAHULUAN**

Ilmu genetika merupakan salah satu bidang kajian esensial dalam Pendidikan IPA yang menekankan pada pemahaman fenomena kehidupan, dimulai dari pewarisan sifat makhluk hidup hingga aplikasi teknologi dalam segala bidang kehidupan. Pemahaman konsep yang mendalam sangat diperlukan bagi mahasiswa dalam mempelajari genetika untuk mengingat fakta baru, membangun hubungan antarkonsep, serta memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari. Dalam konteks kurikulum di Indonesia, konsep genetika, khususnya pewarisan sifat Mendel, diajarkan di jenjang SMP yang menjadi topik fundamental di dalam pembelajaran, sehingga pemahaman konseptual mahasiswa Pendidikan IPA sebagai calon guru IPA perlu dikuatkan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran ke depan. Selain itu, konsep ini tidak hanya penting secara akademis, tetapi juga masih memiliki relevansi terhadap kehidupan masyarakat modern (Kampourakis, 2025).

Ruang lingkup materi pewarisan sifat mencakup konsep-konsep fundamental, yaitu materi genetik dan prinsip Mendel beserta ekstensinya. Materi ini dianggap memiliki kompleksitas konsep yang bersifat abstrak dan menuntut kemampuan berpikir yang simultan dari tingkat molekuler (DNA dan gen) hingga tingkat organisme (fenotipe) (Machová & Ehler, 2023). Tantangan dalam mempelajari konsep ini adalah mahasiswa sering mengalami kebingungan terutama dalam membedakan terminologi dasar genetika dan menginterpretasikan

kasus persilangan (Dachi et al., 2025; Nurwendah & Sari, 2025). Lebih lanjut, permasalahan yang ditemukan dalam pemahaman konsep genetika adalah integrasi konsep molekuler dengan fenomena di tingkat organisme dan pembelajaran yang berorientasi pada hafalan (Etobro & Banjoko, 2017). Permasalahan-permasalahan ini memberikan kontribusi yang besar terhadap rendahnya pemahaman konsep dalam belajar konsep pewarisan sifat bagi mahasiswa calon guru IPA.

Rendahnya pemahaman konsep genetika, terutama pewarisan sifat, dibuktikan oleh data miskonsepsi yang terjadi pada mahasiswa calon guru IPA. Semakin besar miskonsepsi maka semakin besar pula hambatan bagi mahasiswa dapat memahami konsep secara utuh (Cooper et al., 2018). Hal ini didukung oleh penelitian Suwono et al. (2021) yang mengembangkan instrumen Cell Biology Diagnostic Test (CBD-Test) yang menemukan bahwa mahasiswa calon guru IPA mengalami miskonsepsi yang signifikan dalam konsep sel yang menjadi prasyarat pemahaman konsep genetika. Lebih lanjut, lebih dari 80% dari 90 mahasiswa mengalami miskonsepsi dan tidak paham konsep dalam pembelajaran genetika (Wulandari et al., 2021). Konsep terkait prinsip Mendel menjadi konsep yang paling rendah dikuasai oleh mahasiswa calon guru (Smith & Knight, 2012). Pemahaman konsep yang rendah di kalangan mahasiswa ini dikhawatirkan akan membawa konsekuensi yang serius terhadap pembelajaran IPA di sekolah.

Mahasiswa calon guru IPA dengan pemahaman konsep rendah akan berimplikasi terhadap *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) yang dimiliki, yaitu kemampuan dalam menyajikan konsep-konsep ilmiah dalam bentuk menarik dan lebih mudah dipahami oleh peserta didik (Akhwani, 2020). Guru yang memiliki PCK rendah cenderung menggunakan pendekatan konvensional untuk mentransfer pengetahuan melalui hafalan atau tekstual, yang memungkinkan keterkaitan antarkonsep tidak tercapai, seperti keterkaitan antara konsep gen, DNA, kromosom, dan prinsip Mendel secara integratif. Diskusi yang mendalam serta penjelasan ilmiah terkait konten juga akan lebih sering dihindari, terutama bagi guru *out-of-field*, yaitu guru di luar bidang keahliannya (Andrews et al., 2019; Mapulanga et al., 2024). Hal ini akan berdampak besar terhadap kualitas dan ketercapaian tujuan pembelajaran yang dikehendaki.

Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan pemetaan yang komprehensif terhadap pemahaman konsep mahasiswa calon guru IPA sebagai langkah awal untuk meningkatkan kualitas pendidikan IPA di sekolah. Pendekatan analisis deskriptif merupakan salah satu metodologi yang relevan digunakan untuk memberikan dokumentasi berbasis data dan bersifat menyeluruh terhadap pemahaman konseptual pewarisan sifat Mendel pada mahasiswa calon guru IPA. Berbeda dengan penelitian eksperimen yang memiliki fokus pada pengujian intervensi, penelitian deskriptif lebih berfokus pada gambaran kondisi aktual pemahaman konsep mahasiswa calon guru (Fitrianingsih et al., 2023). Peta pemahaman ini akan menjadi dasar empiris untuk merancang proses pembelajaran yang lebih tepat sasaran dengan pendekatan pedagogis yang relevan.

Penelitian sebelumnya telah banyak mengkaji pemahaman konseptual genetika mahasiswa calon guru, akan tetapi masih terdapat kesenjangan penelitian, khususnya pemetaan pemahaman konseptual pewarisan sifat yang berfokus pada integrasi antarkonsep materi genetika dan prinsip Mendel serta ekstensinya secara komprehensif. Selanjutnya, sebagian

besar penelitian terkait genetika menggunakan populasi mahasiswa Pendidikan Biologi, sedangkan penelitian ini secara khusus menyorot pada mahasiswa Pendidikan IPA yang masih sangat terbatas. Padahal, mahasiswa Pendidikan IPA merupakan calon guru IPA di sekolah menengah pertama yang menjadi jembatan awal untuk menguasai konsep genetika. Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara deskriptif pemahaman konseptual pewarisan sifat Mendel mahasiswa calon guru IPA.

## **METODE PENELITIAN**

### **Desain dan jenis penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif. Tujuan dari pemilihan pendekatan ini ialah untuk mengukur variabel secara terstruktur dan mendapatkan data numerik yang dapat dianalisis secara statistik (Creswell, 2018). Pendekatan ini juga dianggap sesuai untuk mendeskripsikan kondisi nyata suatu populasi secara sistematis (Sugiyono, 2019). Desain deskriptif dipilih karena penelitian ini tidak bertujuan untuk menguji intervensi atau kausalitas antarvariabel, melainkan untuk menggambarkan secara faktual pemahaman konseptual pewarisan sifat Mendel mahasiswa calon guru IPA.

### **Sampel penelitian**

Sampel penelitian ini adalah mahasiswa program studi Pendidikan IPA Universitas Tidar yang sedang atau telah menempuh mata kuliah genetika makhluk hidup. Teknik pengambilan sampel dilakukan melalui purposive sampling, yaitu teknik pengambilan sampel dengan mempertimbangkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian (Creswell, 2018). Berdasarkan kriteria tersebut, sampel penelitian yang digunakan adalah mahasiswa tahun kedua yang berjumlah 40. Seluruh responden dianggap tepat karena telah mendapatkan materi pewarisan sifat, sehingga data yang diperoleh dapat mencerminkan pemahaman konseptual yang sebenarnya, bukan disebabkan oleh ketidaktahuan terhadap konten genetika (Fraenkel et al., 2019).

### **Teknik dan instrumen penelitian**

Penelitian ini menggunakan teknik tes untuk pengumpulan data, yaitu dengan memberikan instrumen tes pemahaman konsep secara tertulis kepada mahasiswa sampel penelitian. Instrumen yang digunakan berupa soal uraian berjumlah 4 butir yang dikembangkan langsung dengan merujuk pada tujuan pembelajaran yang hendak dicapai untuk setiap subkonsep pewarisan sifat, yaitu gen, DNA, kromosom; prinsip Mendel; dan ekstensi Mendel. Pendekatan penyusunan instrumen ini sejalan dengan prinsip *constructive alignment* yang menekankan pada aktivitas penilaian harus selaras dengan tujuan pembelajaran yang dirumuskan (Biggs & Tang, 2011). Bentuk soal ini dipilih agar mahasiswa bukan hanya memilih jawaban yang tersedia, tetapi juga dituntut untuk dapat menjelaskan dan menganalisis konsep secara mandiri berdasarkan pemahaman yang telah dimiliki. Hal ini juga dapat digunakan untuk memetakan pemahaman berdasarkan ketercapaian tujuan pembelajaran pada masing-masing subkonsep. Berikut adalah kisi-kisi instrumen pemahaman konseptual pewarisan sifat Mendel.

**Tabel 1. Kisi-Kisi Intrumen Pemahaman Konseptual**

No.	Subkonsep	Indicator soal
1	Gen, DNA, dan kromosom	Menjelaskan hubungan antara gen, DNA, kromosom secara hierarki sebagai materi genetik
2	Prinsip Mendel I	Mengaplikasikan prinsip segregasi (Mendel I)
3	Prinsip Mendel II	Mengaplikasikan prinsip asortasi bebas (Mendel II)
4	Ekstensi Mendel	Memahami pola pewarisan yang menyimpang dari prinsip Mendel klasik

### Teknik analisis data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan secara deskriptif kuantitatif melalui tahapan yang sistematis. Pertama, penskoran jawaban setiap mahasiswa pada masing-masing butir soal berdasarkan rubrik yang telah ditetapkan. Kedua, analisis statistik deskriptif sederhana dengan merujuk pada subkonsep dan skor total pemahaman konseptual responden. Ketiga, konversi skor ke dalam nilai persentase yang disajikan pada Tabel 2 dengan menggunakan rumus berikut.

$$P = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor maksimum}} \times 100\%$$

Keterangan:

P : persentase skor pemahaman konseptual secara keseluruhan

**Tabel 2. Interpretasi Tingkat Pemahaman Konseptual**

Rentang persentase (%)	Kategori
81-100	Sangat tinggi
61-80	Tinggi
41-60	Sedang
21-40	Rendah
0-20	Sangat rendah

(Arikunto, 2013)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemahaman konseptual mahasiswa calon guru IPA terhadap konsep pewarisan sifat Mendel yang mencakup 4 indikator, yaitu gen, DNA, dan kromosom; prinsip Mendel 1, prinsip Mendel 2, dan ekstensi Mendel. Hasil analisis statistik deskriptif disajikan pada Tabel 3, sedangkan distribusi frekuensi kategori pemahaman konseptual disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 3. Statistik deskriptif pemahaman konseptual per subkonsep**

No.	Subkonsep	n	Min	Maks	SD	Mean
1	Gen, DNA, dan kromosom	40	15,00	100	23,16	59,62

2	Prinsip Mendel I	40	6,67	100	25,11	44,90
3	Prinsip Mendel II	40	13,33	100	30,38	30,62
4	Ekstensi Mendel	40	15,00	100	35,49	54,04
Total						47,22

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa rerata pemahaman konseptual pada keempat subkonsep adalah 47,22 yang berada pada kategori sedang. Hal ini mengindikasikan bahwa pemahaman konseptual belum tercapai sepenuhnya oleh mahasiswa calon guru IPA. Skor standar deviasi berada pada rentang yang relative besar yang menunjukkan bahwa terdapat variasi pemahaman konseptual yang cukup lebar diantara mahasiswa calon guru IPA.

Tabel 4. Distribusi frekuensi kategori pemahaman konseptual

Kategori	Indikator soal				Skor total
	1	2	3	4	
Sangat tinggi	9 (22,5%)	1 (2,5%)	6 (15,0%)	12 (30,0%)	3 (7,5%)
Tinggi	0 (0,0%)	10 (25,0%)	0 (0,0%)	9 (22,5%)	6 (15,0%)
Sedang	29 (72,5%)	10 (25,0%)	3 (7,5%)	0 (0,0%)	15 (37,5%)
Rendah	0 (0,0%)	8 (20,0%)	2 (5,0%)	7 (17,5%)	15 (37,5%)
Sangat rendah	2 (5,0%)	11 (27,5%)	29 (72,5%)	12 (30,0%)	1 (2,5%)

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa distribusi kategori pemahaman konseptual mahasiswa calon guru IPA pada masing-masing subkonsep mengindikasikan pola yang berbeda-beda. Secara keseluruhan, terdapat 22,5% mahasiswa yang mencapai kategori sangat tinggi dan tinggi, 37,5% mahasiswa berada pada kategori sedang, dan 40% mahasiswa berada pada kategori rendah dan sangat rendah.

### Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah disajikan, secara umum rerata pemahaman konseptual mahasiswa calon guru IPA terhadap konsep pewarisan sifat Mendel berada pada kategori sedang dengan 47,22. Standar deviasi yang relative besar, mengindikasikan bahwa pemahaman konseptual diantara mahasiswa sangat bervariasi. Gambaran ini menunjukkan kondisi yang cukup mengkhawatirkan karena lebih dari separuh mahasiswa, yaitu 77,5%, belum mencapai pada kategori tinggi dan sangat tinggi. Mahasiswa calon guru IPA perlu untuk menguasai konsep yang akan diajarkan, karena jika pemahaman konseptual dari calon guru tidak utuh dikuasai akan beresiko diteruskan kepada siswanya kelak dalam bentuk miskonsepsi (Rosadi & Eldalisna, 2025).

Urutan pemahaman konseptual berdasarkan empat subkonsep pewarisan sifat Mendel dari tertinggi ke terendah, yaitu gen, DNA, dan kromosom (59,62%), ekstensi Mendel (54,04%), prinsip Mendel I (44,90%), dan prinsip Mendel II (30,62%). Berdasarkan karakteristik konsepnya, mahasiswa calon guru IPA cenderung lebih dapat memahami konsep yang deskriptif dibandingkan dengan konsep yang menuntut analisis dan penalaran dalam kasus

persilangan. Hal ini didukung oleh penelitian (Avena et al., 2021) yang menjelaskan bahwa soal soal deskriptif memberikan peluang keberhasilan yang lebih besar dibandingkan soal penalaran.

Subkonsep pertama, yaitu gen, DNA, dan kromosom, menjadi subkonsep dengan rerata tertinggi dengan persentase keberhasilan 59,62%. Mahasiswa memiliki pemahaman konseptual yang terkonsentrasi pada kategori sedang dengan persentase 72,5%. Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa telah memiliki pemahaman konseptual yang cukup untuk menjelaskan hubungan secara hierarki gen, DNA, dan kromosom. Subkonsep ini merupakan subkonsep fundamental dan menjadi prasyarat dan menjadi penghubung dalam memahami materi pewarisan sifat secara komprehensif (Freidenreich et al., 2011). Mahasiswa yang belum menguasai subkonsep ini dimungkinkan akan mengalami kesulitan untuk memahami subkonsep-subkonsep berikutnya.

Subkonsep kedua, yaitu prinsip Mendel I, memiliki rerata dengan persentase 44,90% pada kategori sedang. Merujuk pada pola distribusinya, prinsip Mendel I merupakan subkonsep dengan pemahaman konseptual yang paling menyebar, yang berarti sebagian besar mahasiswa menguasai subkonsep ini dengan baik dan sebagian lainnya mengalami kesulitan yang mendasar. Prinsip Mendel I merupakan konsep yang membutuhkan kemampuan untuk memprediksi genotip dan fenotip dari dasar perilaku kromosom yang membawa gen. Hal ini juga mengindikasikan bahwa kemampuan pemetaan simultan mahasiswa dari level gen hingga fenotip organisme perlu diasah kembali (Strome et al., 2024).

Subkonsep ketiga, yaitu prinsip Mendel II, memiliki rerata paling rendah dari keseluruhan subkonsep yang diujikan dengan persentase 30,62% pada kategori rendah. Terdapat kesenjangan yang sangat mencolok yang dibuktikan dengan 72,5% mahasiswa berada di kategori sangat rendah, tetapi 15% berkategori sangat tinggi. Data ini mengindikasikan bahwa sebagian besar mahasiswa tidak memahami konsep dasar persilangan dihibrid. Subkonsep ini adalah berkoneksi erat dengan prinsip Mendel I, dan menjadi salah satu topik yang sulit dalam pembelajaran genetika yang memerlukan reinforcement konsisten untuk menguatkan pemahaman konseptual bagi mahasiswa (Todd & Romine, 2018). Selain itu, subkonsep ini menekankan pembelajaran di tingkat organisasi biologi secara bersamaan, sehingga mahasiswa perlu membangun koneksi antarkonsep agar mendapatkan pengetahuan yang utuh (Machová & Ehler, 2023).

Subkonsep keempat, yaitu ekstensi Mendel, memperoleh rerata 54,04% pada kategori sedang dengan distribusi yang cukup unik. 52,5% mahasiswa berada pada kategori tinggi-sangat tinggi dan 47,25% mahasiswa berada pada kategori rendah-sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat dua kelompok mahasiswa yang terpisah dengan jelas terkait pemahaman konseptual ekstensi Mendel. Data ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Abraham et al., 2014; Strome et al., 2024) melaporkan bahwa hanya sekitar 50% mahasiswa yang dapat mengklasifikasikan konsep ekstensi Mendel dengan tepat. Rendahnya pemahaman konseptual pada subkonsep ini dimungkinkan karena kompleksitas dan penekanan pada proses penalaran lebih lanjut dalam menghubungkan antarkonsep Mendel.

Pemetaan pemahaman konseptual yang dilakukan dapat memberikan gambaran konkret mengenai kondisi nyata penguasaan konsep pewarisan sifat Mendel pada mahasiswa calon guru IPA. Dari keempat subkonsep yang dianalisis, tiga subkonsep tergolong sedang dan satu subkonsep tergolong rendah, yaitu pada prinsip Mendel II. Penelitian ini diharapkan memiliki

implikasi yang dapat segera ditindaklanjuti, yaitu pertama, perlu adanya perhatian yang lebih besar pada pembelajaran subkonsep Mendel II dengan menekankan pada ketuntasan belajar konsep prasyarat sebagai tahapan awal untuk mempelajari lanjutan yang lebih tinggi. Kedua, perlu mempertimbangkan pelaksanaan pembelajaran diferensiasi untuk memfasilitasi kemampuan belajar mahasiswa yang berbeda, sehingga ketercapaian tujuan pembelajaran dapat dioptimalkan. be

## **SIMPULAN DAN SARAN**

### **Simpulan**

Merujuk pada tujuan penelitian, pemahaman konseptual pewarisan sifat Mendel mahasiswa calon guru IPA berada pada kategori sedang dengan rerata 47,22% yang mengindikasikan bahwa terdapat lebih dari separuh mahasiswa yang belum memiliki pemahaman konseptual yang memadai terkait konsep pewarisan sifat Mendel. Pemetaan pemahaman konseptual per subkonsep menunjukkan bahwa urutan caipain dari tinggi ke rendah, yaitu gen, DNA, dan kromosom; ekstensi Mendel; prinsip Mendel I; dan prinsip Mendel II.

### **Saran**

Untuk meningkatkan kualitas pembelajaran ke depan, maka pembelajaran genetika perlu dirancang dengan lebih menekankan pada penguatan pemahaman konseptual, terutama pada konsep prasyarat. Selain itu, perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi sumber miskonsepsi menggunakan instrumen diagnostic atau inovasi pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa calon guru IPA.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Abraham, J. K., Perez, K. E., & Price, R. M. (2014). The dominance concept inventory: A tool for assessing undergraduate student alternative conceptions about dominance in mendelian and population genetics. *CBE Life Sciences Education*, 13(2), 349–358. <https://doi.org/10.1187/cbe.13-08-0160>
- Akhwani. (2020). Integration of TPACK as a Basic Framework for 21st Century Learning: An Analysis of Professional Teacher. *International Conference on Information Technology and Education*, 291–296.
- Andrews, T. C., Auerbach, A. J. J., & Grant, E. F. (2019). Exploring the relationship between teacher knowledge and active-learning implementation in large college biology courses. *CBE Life Sciences Education*, 18(4). <https://doi.org/10.1187/cbe.19-01-0010>
- Avena, J. S., McIntosh, B. B., Whitney, O. N., Wiens, A., & Knight, J. K. (2021). Successful Problem Solving in Genetics Varies Based on Question Content. *CBE Life Sciences Education*, 20(4). <https://doi.org/10.1187/CBE.21-01-0016>
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Maidenhead: Open University Press.

- Cooper, K. M., Ding, L., Stephens, M. D., Chi, M. T. H., & Brownell, S. E. (2018). A course-embedded comparison of instructor-generated videos of either an instructor alone or an instructor and a student. *CBE Life Sciences Education*, 17(2). <https://doi.org/10.1187/cbe.17-12-0288>
- Creswell, J. W. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (Fifth Edition). Sage Publications.
- Dachi, D. N. M., Rangkuty, S. M., Sinurat, F. M., Buatun, N. L., & Simarmata, R. (2025). Analisis Faktor Penyebab Kesulitan Membaca Istilah Latin Biologi Pada Materi Pewarisan Sifat. *Jurnal Cendekia Ilmiah*, 4(4).
- Etobro, A. B., & Banjoko, S. O. (2017). Misconceptions of genetics concepts among pre-service teachers. *Global Journal of Educational Research*, 16(2), 121. <https://doi.org/10.4314/gjedr.v16i2.6>
- Fitrianingsih, R. A., Suaedi, H., & Vardani, E. N. A. (2023). Descriptive Text Writing Skills Through Picture Media in Elementary School Students. *Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 5(1), 185–204. <https://doi.org/10.51276/edu.v5i1.568>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2019). *How to design and evaluate research in education* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Freidenreich, H. B., Duncan, R. G., & Shea, N. (2011). Exploring Middle School Students' Understanding of Three Conceptual Models in Genetics. *International Journal of Science Education*, 33(17), 2323–2349. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.536997>
- Kampourakis, K. (2025). Teaching School Genetics in the 2020s: Why “Naive” Mendelian Genetics Has to Go. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 17(6). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041679>
- Machová, M., & Ehler, E. (2023). Secondary school students' misconceptions in genetics: origins and solutions. *Journal of Biological Education*, 57(3), 633–646. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933136>
- Mapulanga, T., Ameyaw, Y., Nshogoza, G., & Bwalya, A. (2024). Integration of topic-specific pedagogical content knowledge components in secondary school science teachers' reflections on biology lessons. *Discover Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00104-y>
- Nurwendah, A. S., & Sari, I. P. (2025). Analisis Kesulitan Siswa pada Sub-Materi Genetika Ditinjau dari Minat Belajar Siswa. *Bioed: Jurnal Pendidikan Biologi*, 13(2), 163. <https://doi.org/10.25157/jpb.v13i2.20777>
- Rosadi, D., & Eldalisna, N. (2025). Analisis Kesulitan Siswa dalam Memahami Materi Pewarisan Sifat pada Siswa Kelas 12 MAN 1 Kerinci. *Indonesian Institute For Corporate Learning And Studies (IICLS)*, 6(3), 2332–2338.
- Smith, M. K., & Knight, J. K. (2012). Using the Genetics Concept Assessment to document persistent conceptual difficulties in undergraduate genetics courses. *Genetics*, 191(1), 21–32. <https://doi.org/10.1534/genetics.111.137810>
- Strome, S., Bhalla, N., Kamakaka, R., Sharma, U., & Sullivan, W. (2024). Clarifying Mendelian vs non-Mendelian inheritance. In *Genetics* (Vol. 227, Number 3). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/genetics/iyae078>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

- Suwono, H., Prasetyo, T. I., Lestari, U., Lukiati, B., Fachrunnisa, R., Kusairi, S., Saefi, M., Fauzi, A., & Atho'illah, M. F. (2021). Cell Biology Diagnostic Test (CBD-Test) portrays pre-service teacher misconceptions about biology cell. *Journal of Biological Education*, 55(1), 82–105. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1643765>
- Todd, A., & Romine, W. (2018). The learning loss effect in genetics: What ideas do students retain or lose after instruction? *CBE Life Sciences Education*, 17(4). <https://doi.org/10.1187/cbe.16-10-0310>
- Wulandari, S., Gusmalini\*, A., & Zulfarina, Z. (2021). Analisis Miskonsepsi Mahasiswa Pada Konsep Genetika Menggunakan Instrumen Four Tier Diagnostic Test. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(4), 642–654. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v9i4.21153>