

Identification of students' misconceptions in genetic materials using four-tier diagnostic test

Ulfi Maysyaroh*, Meiry Fadilah Noor

Biology Education Department, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia

*Corresponding author, email: ulfimaysyaroh135@gmail.com

Submitted:
23-01-2025

Accepted:
14-05-2025

Published:
15-05-2025

Abstract: Misconceptions are one of the main causes of students' difficulties in understanding biological concepts, which can affect how they apply biological knowledge in everyday life. Genetics is one of the biology topics that is particularly prone to misconceptions. This study aims to identify misconceptions experienced by public high school students in Brebes Regency during the 2021–2022 academic year on the topic of genetic substance. This research employed a quantitative approach with a descriptive method. The sample consisted of 87 twelfth-grade students from three public high schools in Brebes Regency selected through purposive sampling. Data were collected using a four-tier diagnostic test. The results showed that the level of student misconceptions reached 39.10%. These misconceptions were classified as moderate, with 67.50% identified as pure misconceptions, 14.05% as false positives, and 18.45% as false negatives. The sub-concept with the highest level of misconceptions was Chromosomes, with a percentage of 52.87%. Based on these findings, it can be concluded that public high school students in Brebes still experience misconceptions regarding Genetic Substance. Therefore, remediation efforts by teachers are necessary to help address and correct these misconceptions.

Keywords: Four-tier diagnostic test, genetic substance, misconception

Abstrak: Miskonsepsi merupakan salah satu penyebab utama kesulitan siswa dalam memahami materi biologi, yang dapat berdampak pada penerapan konsep biologi dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu topik biologi yang rawan terjadi miskonsepsi adalah genetika. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi miskonsepsi yang dialami siswa SMA Negeri di Kabupaten Brebes pada tahun ajaran 2021–2022 terkait materi substansi genetik. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif. Sampel terdiri dari 87 siswa kelas XII dari tiga SMA Negeri di Kabupaten Brebes yang dipilih melalui teknik purposive sampling. Instrumen yang digunakan dalam pengumpulan data adalah tes diagnostik empat tingkat (*four-tier test*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat miskonsepsi siswa mencapai 39,10%. Miskonsepsi yang ditemukan tergolong sedang, dengan rincian: 67,50% merupakan miskonsepsi murni, 14,05% tergolong *False Positive*, dan 18,45% termasuk *False Negative*. Subkonsep dengan tingkat miskonsepsi tertinggi adalah subkonsep Kromosom, dengan persentase sebesar 52,87%. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa siswa SMA Negeri di Brebes masih mengalami miskonsepsi dalam memahami materi Substansi Genetik. Oleh karena itu, diperlukan upaya remediasi dari guru untuk membantu menghilangkan miskonsepsi yang terjadi pada siswa.

Kata kunci: Tes diagnostik four-tier, substansi genetik, miskonsepsi

PENDAHULUAN

Materi genetika dipelajari oleh siswa sekolah menengah hingga mahasiswa dengan jurusan-jurusan tertentu. Topik ini menjadi landasan bagi berbagai cabang ilmu terapan biologi, seperti forensik, pertanian, kedokteran, serta bidang lain yang terkait. Menurut

Wulandari et al. (2021), pemahaman terhadap konsep dasar genetika perlu ditanamkan sejak siswa masih berada di Tingkat sekolah menengah. Namun demikian, dalam proses pembelajaran biologi, genetika termasuk salah satu materi yang sering menjadi sumber miskonsepsi (Tekkaya, 2002). Miskonsepsi ini antara lain disebabkan oleh penyajian materi yang masih mengandalkan pendekatan genetika klasik, khususnya konsep Mendel, sehingga kurang menekankan aspek molekuler. Selain itu, penyampaian materi oleh guru sering kali menggunakan istilah yang tidak tepat, belum dikenal oleh siswa, merupakan istilah buatan sendiri, atau berdasarkan pemahaman pribadi guru yang kurang akurat (Nusantari, 2014).

Penyebab miskonsepsi beraneka macam, diantaranya berasal dari hasil pemahaman siswa sendiri, buku atau literatur yang digunakan, materi yang disampaikan oleh guru, konteks dan metode pembelajaran yang dilakukan selama di kelas (Nasir et al., 2024; Suprpto, 2020). Azizah dan Alberida (2021) menjelaskan bahwa sebagian siswa masih menggunakan cara menghafal dalam memahami biologi. Siswa kesulitan memahami konsep yang kompleks sehingga membutuhkan cara pemahaman konsep dengan cara sederhana dan benar. Karakteristik konsep sains yang bersifat abstrak dan saling berhubungan memerlukan penalaran logis, keterampilan kritis, serta penggunaan sumber-sumber yang terpercaya dan terstruktur sehingga diperlukan pemahaman konsep yang baik (Kurniawati et al., 2022; Nasir et al., 2024). Pemahaman siswa yang tidak sesuai dengan temuan empiris dan konsep yang diterima saat ini (Verkade et al., 2017) menimbulkan konseptual konflik ketika mereka menggabungkan konsep yang baru dipelajarinya dengan konsep yang sebelumnya dianggap benar (Mukhlisa, 2021; Winarno et al., 2025). Hal ini juga dapat menjadi penyebab miskonsepsi di materi genetika.

Ketercapaian siswa pada mata pelajaran biologi Provinsi Jawa Tengah dari hasil Ujian Nasional tahun 2019 pada materi genetika dan evolusi masuk dalam kategori terendah yaitu 66,93. Siswa SMA di Kabupaten Brebes menunjukkan nilai biologi terendah dengan konsep genetika dan evolusi memperoleh nilai 57,43 (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2019). Hasil wawancara tiga guru SMA Negeri memberikan jawaban serupa bahwa konsep genetika menjadi konsep yang sulit bagi siswa. Kesulitan-kesulitan siswa terjadi secara menyeluruh pada setiap materi genetika. Kesulitan yang dialami siswa memiliki dua kemungkinan, yaitu terdapat kesalahan konsep yang mereka pahami atau siswa tidak memahami konsep atau materi yang sedang dipelajarinya.

Langkah awal yang perlu dilakukan untuk menghilangkan miskonsepsi yang melekat pada pemikiran siswa yaitu dengan mengidentifikasi pemahaman yang dimiliki siswa (Sobah et al., 2019). Berbagai cara untuk mengidentifikasi miskonsepsi yaitu dengan tes diagnostik, seperti wawancara, pertanyaan terbuka, peta konsep, dan tes pilihan ganda (Gurel et al., 2015). Instrumen tes diagnostik dengan wawancara mampu mengidentifikasi miskonsepsi dengan baik tetapi memerlukan waktu yang cukup lama (Soeharto et al., 2019). Tes diagnostik 2 *tier* yang dikembangkan oleh Treagust (1986). Namun instrumen ini tidak dapat membedakan kesalahan yang didapat siswa apakah berasal dari miskonsepsi atau karena siswa

tidak memahami konsep tersebut (Agustin et al., 2022). Maka pengembangan terhadap instrumen tes diagnostik terus dilakukan sehingga dihasilkan *three tier diagnostic test* yang dikembangkan oleh Hasan et al. (1999) dimana terdapat penambahan satu tingkat keyakinan. Satu tingkat keyakinan ini akhirnya menimbulkan permasalahan dimana siswa belum tentu memiliki keyakinan yang sama dalam menjawab soal dan menjawab alasannya (Agustin et al., 2022). Dari hal tersebut maka munculah pengembangan *four tier diagnostic test* dimana menyisipkan Tingkat keyakinan pada pilihan jawaban dan pilihan alasan. Hal ini dapat memudahkan peneliti mengetahui keyakinan jawaban siswa dalam menjawab soal dan memilih alasannya (Caleon & Subramaniam, 2010). Dengan adanya empat tingkat dalam satu soal, jenis tes ini memerlukan banyak waktu, baik dalam pengerjaan soalnya maupun dalam menganalisis hasil jawabannya. Meski begitu, tes diagnostic dengan empat tingkatan ini mampu mengetahui profil pemahaman siswa lebih terperinci (Uswatun & Mubarak, 2024). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi miskonsepsi siswa SMA Negeri di Brebes pada materi substansi genetik.

Menurut Verkade et al. (2017) konseptual konflik yang dialami siswa bisa menjadi peluang untuk meningkatkan pembelajaran. Hal ini dapat terjadi jika ketika siswa mengalami ketidakkonsistenan antara apa yang mereka anggap benar dan konsep yang sebenarnya dan didukung dengan benar (seperti memperbaikinya dengan identifikasi dan remediasi). Emosi ini dapat dimanfaatkan untuk membangun struktur kognitif siswa yang lebih kuat (Verkade et al., 2017). Sebaliknya, prakonsepsi dengan pemahaman yang salah dan terbentuk lebih dulu akan sangat sulit dihilangkan dalam pembelajaran formal karena bersifat sangat kuat. Prakonsepsi yang kurang tepat dapat menimbulkan miskonsepsi secara utuh pada benak siswa.

Miskonsepsi pada materi Substansi Genetik perlu diselidiki karena dapat berpengaruh terhadap materi-materi genetika selanjutnya. Hal ini karena materi substansi genetik merupakan konsep awal dalam mempelajari genetika yang lebih kompleks. Siswa bisa menjadikan miskonsepsi menjadi pegangan dalam memahami suatu konsep atau siswa akan menganggap bahwa konsep yang dipahaminya adalah benar (Mukhlisa, 2021). Hal ini kemudian bisa membuat siswa mengalami kesulitan pada materi lain karena setiap konsep dalam materi ini saling berkaitan satu sama lain (Tekkaya, 2002).

METODE

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif merupakan kegiatan analisis statistis yang digunakan untuk menggambarkan, merangkum, dan menganalisis data yang dapat diukur atau dihitung menggunakan angka (Sudirman et al., 2023). Tujuan dari metode ini yaitu untuk memberikan gambaran yang jelas dan terperinci mengenai hasil penelitian sehingga dapat memudahkan pengambilan keputusan dan memberikan pendapat berdasarkan data yang didapatkan (Sudirman et al., 2023).

Penelitian dilaksanakan pada September 2021 – Maret 2022. Lokasi penelitian dilaksanakan di SMA Negeri di Brebes sebanyak tiga sekolah. Populasi yang peneliti pilih yaitu siswa kelas XII IPA sebanyak 300 siswa. Sampel yang digunakan sebanyak 87 siswa kelas XII dari tiga sekolah berbeda yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Sampel yang dipilih yaitu siswa kelas XII yang sudah mempelajari materi Substansi Genetik di kelas.

Peneliti menggunakan instrumen tes diagnostik *four-tier* berupa 14 soal yang telah diuji validitas serta reliabilitasnya. Uji validitas dalam penelitian ini menggunakan *Pearson Product Moment* dan validasi ahli sehingga didapatkan 14 soal valid. Sementara uji reliabilitas dilakukan menggunakan teknik Cronbach Alpha dan dinyatakan instrumen ini baik untuk digunakan (nilai cronbach's Alpha 0,756). Terdapat 3 soal mudah, 6 soal sedang, 4 soal sukar, dan 1 soal sangat sukar. Peneliti juga melakukan tes daya pembeda soal sehingga didapat 3 soal memiliki daya pembeda cukup dan 11 soal dengan daya pembeda baik. Materi Substansi genetik terdiri dari lima sub konsep diantaranya Gen dan Pewarisan Sifat, DNA dan RNA, Kromosom, Replikasi DNA, dan Sintesis Protein.

- 9.1 Seorang laki-laki memiliki 46 kromosom pada setiap sel somatisnya. Oleh karena itu, kariotipe pada sel kelamin atau spermanya adalah ...
- 22A+X atau 22A+Y
 - 22A+XY
 - 22A + Y
 - 22AA + XY atau 44A + XY
 - 44A+X atau 44A+Y
- 9.2 Tingkat keyakinan (jawaban pada pertanyaan tingkat pertama)
- Yakin
 - Tidak Yakin
- 9.3 Manakah alasan yang benar sesuai dengan jawaban anda sebelumnya?
- Sel gamet seorang laki-laki memiliki 46 kromosom dengan 22 pasang kromosom autosom (AA) dan sepasang kromosom XY.
 - Sel gamet seorang laki-laki memiliki 23 kromosom dengan 22 kromosom autosom (A) dan sebuah kromosom gonosom X atau Y.
 - Sel somatis seorang laki-laki mempunyai 23 kromosom dengan dengan 22 kromosom autosom (A) dan sebuah kromosom gonosom X atau Y.
 - Sel gamet dan sel somatis seorang laki-laki mempunyai jumlah kromosom yang sama, yaitu 22 pasang kromosom autosom (AA) dan sepasang kromosom XY.
 - Lainnya ...
- 9.4 Tingkat Keyakinan (jawaban pada pertanyaan tingkat ketiga)
- Yakin
 - Tidak Yakin

Gambar 1. Soal nomor 9

Instrumen ini memiliki empat tingkatan dalam setiap soalnya. Tingkatan pertama merupakan pilihan ganda yang berisi lima pilihan jawaban yang dapat dipilih oleh siswa, tingkatan kedua yaitu pertanyaan mengenai keyakinan siswa terhadap jawaban yang dipilihnya, pada *tier* ketiga siswa diminta untuk memilih salah satu dari empat alasan memilih jawaban dari tingkat pertama dan pada tingkat terakhir berisi pertanyaan tingkatan keyakinan

terhadap jawaban alasan pertanyaan. Gambar 1 menjelaskan kerangka instrumen tes diagnostik *four tier* pada salah satu soal. Instrumen tes yang sudah dibuat diberikan kepada sampel yang sudah dipilih.

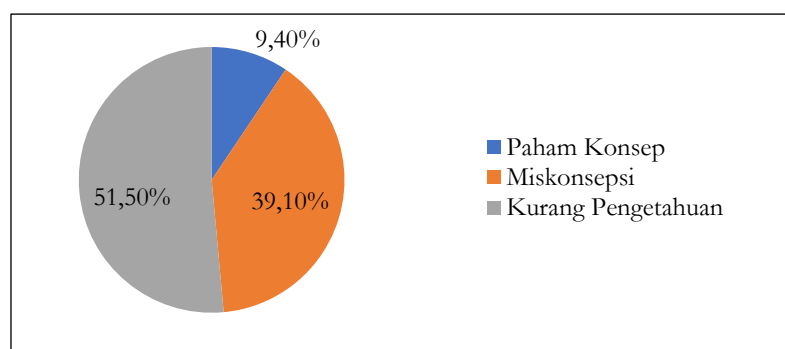
Tahapan pertama yang dilakukan dalam analisis data adalah dengan pemberian skor pada jawaban (Tier 1) dan pilihan alasan (Tier 3). Setiap jawaban yang benar akan diberi skor 1, sedangkan jawaban salah mendapatkan skor 0. Untuk tingkat keyakinan siswa pada Tier 2 dan Tier 4, akan diberikan skor 1 jika memilih opsi Yakin dan skor 0 jika memilih opsi Tidak Yakin. Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan siswa ke dalam kategori Paham Konsep, Tidak Paham Konsep, Miskonsepsi, Murni, Miskonsepsi *False Positive*, dan Miskonsepsi *False Negative*. Proses pengelompokan ini didasarkan pada kriteria yang dikembangkan oleh Gurel et al. (2015), sebagaimana tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokan Pemahaman Konsep Siswa

Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Kategori
Benar	Yakin	Benar	Yakin	Paham Konsep
Benar	Yakin	Benar	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep
Benar	Tidak Yakin	Benar	Yakin	Tidak Paham Konsep
Benar	Tidak Yakin	Benar	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep
Benar	Yakin	Salah	Yakin	Miskonsepsi <i>False Positive</i>
Benar	Yakin	Salah	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep
Benar	Tidak Yakin	Salah	Yakin	Tidak Paham Konsep
Benar	Tidak Yakin	Salah	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep
Salah	Yakin	Benar	Yakin	Miskonsepsi <i>False Negative</i>
Salah	Yakin	Benar	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep
Salah	Tidak Yakin	Benar	Yakin	Tidak Paham Konsep
Salah	Tidak Yakin	Benar	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep
Salah	Yakin	Salah	Yakin	Miskonsepsi Murni
Salah	Yakin	Salah	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep
Salah	Tidak Yakin	Salah	Yakin	Tidak Paham Konsep
Salah	Tidak Yakin	Salah	Tidak Yakin	Tidak Paham Konsep

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengolahan data dari jawaban siswa, didapatkan hasil persentase kategori pemahaman siswa secara keseluruhan. Persentase tingkat pemahaman siswa secara keseluruhan terlihat pada Gambar 2.



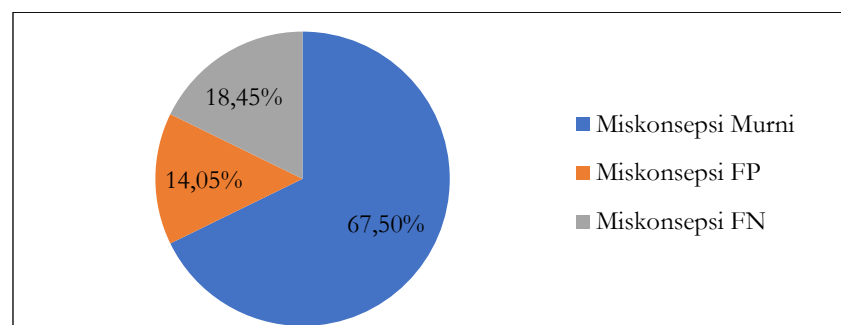
Gambar 2. Persentase pemahaman konsep siswa

Gambar 2 memperlihatkan persentase tingkat pemahaman siswa secara menyeluruh. Persentase terbesar dari pemahaman siswa secara keseluruhan yaitu kurangnya pengetahuan siswa sebesar 52,50%. Miskonsepsi berada pada posisi kedua sebesar 39,10%. Persentase miskonsepsi ini termasuk dalam kategori sedang (Didik et al., 2020). Kategori miskonsepsi dapat dilihat dalam Tabel 2. Sementara persentase paham konsep terendah yaitu 9,40%.

Tabel 2. Kategori Miskonsepsi

Persentase	Kategori
0% - 30%	Rendah
>30% - 60%	Sedang
>60% - 100 %	Tinggi

Data sebelumnya menunjukkan bahwa secara keseluruhan, Tingkat miskonsepsi dalam pemahaman siswa mencapai 39,10%. Miskonsepsi ini merupakan gabungan dari tiga kategori, yaitu miskonsepsi murni, miskonsepsi *false positive*, dan miskonsepsi *false negative*. Ketiga bentuk miskonsepsi tersebut dapat dialami oleh siswa akibat lemahnya pemahaman konsep serta kesalahan yang cukup signifikan (Gurel et al., 2015). Dari ketiga jenis tersebut, miskonsepsi murni menjadi yang paling dominan dengan persentase sebesar 67,50%. Sementara itu, miskonsepsi *false negative* dan *false positive* memiliki persentase yang relatif berdekatan, yakni masing-masing 18,45% dan 14,05%. Rincian persentase masing-masing jenis miskonsepsi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Persentase jenis miskonsepsi siswa

Miskonsepsi murni terjadi ketika siswa benar-benar mengalami kesalahan konsep. Hal ini terlihat dari jawaban siswa yang salah, baik pada pernyataan maupun alasan yang diberikan namun tetap menunjukkan Tingkat keyakinan yang tinggi terhadap jawabannya. Sementara itu, miskonsepsi *false positive* terjadi ketika siswa memberikan jawaban yang benar pada pernyataan utama (*tier* pertama), namun memberikan alasan yang keliru (*tier* ketiga), dan tetap yakin terhadap jawabannya. Situasi ini mencerminkan pemahaman siswa yang belum mendalam terhadap konsep yang dipelajari. Mereka mungkin mengetahui jawaban yang benar, tetapi tidak memahami alasan di baliknya. Jenis miskonsepsi ini dikenal sulit untuk diatasi (Hestenes & Halloun, 1995).

Miskonsepsi *false negative* terjadi ketika siswa memberikan jawaban yang salah pada *tier* pertama namun memberikan alasan yang benar pada *tier* ketiga. Kondisi ini biasanya

disebabkan oleh kurangnya informasi yang diterima siswa, sehingga menimbulkan kesalahpahaman. Jenis miskonsepsi ini umumnya tidak dianggap sebagai masalah serius karena sering kali disebabkan oleh kesalahan atau kelalaian siswa dalam menjawab soal (Nuriyah et al., 2024; Syahrul & Setyarsih, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa siswa sebenarnya memahami konsep, tetapi melakukan kesalahan saat memilih jawaban pada *tier* pertama. Istilah *false positive* dan *false negative* pertama kali diperkenalkan oleh Hestenes et al. (1995).

Hasil jawaban siswa yang mengalami miskonsepsi kemudian dikelompokkan berdasarkan subkonsep pada konsep substansi genetik. Materi substansi genetik terdiri atas lima subkonsep, yaitu Gen dan Pewarisan Sifat, DNA dan RNA, Kromosom, Replikasi DNA, serta Sintesis Protein. Masing-masing subkonsep tersebut menunjukkan Tingkat miskonsepsi yang bervariasi. Rincian persentase miskonsepsi pada tiap subkonsep Substansi genetik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase miskonsepsi setiap subkonsep substansi genetik

Subkonsep	Kategori Miskonsepsi (%)			Total
	Miskonsepsi Murni	<i>False Positive</i>	<i>False Negative</i>	
Gen dan Pewarisan Sifat	34,48	0,57	8,62	43,68
DNA dan RNA	22,07	7,81	5,98	35,86
Kromosom	35,63	9,20	8,05	52,87
Replikasi DNA	23,37	2,68	6,52	32,57
Sintesis Protein	28,35	6,51	8,81	43,68

Tabel 3 memperlihatkan bahwa tingkat miskonsepsi yang dialami siswa pada masing-masing subkonsep berada dalam kategori sedang. Miskonsepsi tertinggi terjadi pada subkonsep kromosom, yaitu 52,87%. subkonsep Gen dan Pewarisan Sifat serta subkonsep Sintesis Protein memiliki persentase yang sama sebesar 43,68%. subkonsep DNA dan RNA memiliki persentase miskonsepsi sebesar 35,86% dan subkonsep Replikasi DNA memiliki tingkat miskonsepsi terendah sebesar 32,57%. Pernyataan siswa yang mengandung miskonsepsi berdasarkan jawaban dan alasan pada tiap subkonsep dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pernyataan miskonsepsi siswa pada jawaban dan alasan setiap subkonsep

Subkonsep	Jawaban Siswa	Konsep yang Benar	Jumlah Siswa
<i>Tier 1</i>			
Gen dan Pewarisan Sifat	Morfologi makhluk hidup dikendalikan oleh gen yang diturunkan oleh induknya	Morfologinmakhluk hidup dikendalikan oleh gen dan lingkungannya.	7
	Morfologi makhluk hidup dikendalikan oleh kromosom		2
	Morfologi makhluk hidup dikendalikan oleh lingkungan		2

	Morfologi makhluk hidup dikendalikan oleh kromosom dan gen		3
	Asam nukleat yaitu DNA, RNA, dan Kromosom	Asam nukleat merupakan materi genetik yang berupa DNA dan RNA.	1
	Asam nukleat yaitu DNA, gen, dan RNA		1
	Asam nukleat yaitu kromosom, DNA, dan gen		1
	Asam nukleat yaitu kromosom, DNA, gen, dan RNA		6
DNA dan RNA	DNA adalah suatu molekul yang terdiri dari purin dan pirimidin untuk menentukan sifat	DNA memiliki rantai ganda dengan basa nitrogen terdiri dari jenis Purin dan Pirimidin. Adenin dan Guanin termasuk dalam basa Purin, sementara Timin dan Sitosin merupakan basa Pirimidin. Adenin tidak bisa berikatan dengan Guanin, begitupun antara Timin dan Sitosin. Hal ini karena ukuran basa nitrogen yang sejenis selalu sama. Oleh karenanya, Basa nitrogen hanya bisa berikatan jika berbeda jenis, yaitu Purin dan Pirimidin. Pasangan Adenin dengan Timin diikat dengan 2 rangkap ikatan hidrogen, sementara pasangan Guanin dan Sitosin akan diikat dengan 3 rangkap ikatan hidrogen.	1
	2 ikatan hidrogen menghubungkan Guanin dan Sitosin		3
	DNA mempunyai untai tunggal		1
	mRNA untuk menyampaikan pesan, tRNA untuk membaca asam amino, rRNA untuk membangun protein	mRNA membawa pesan dari DNA yang akan dibawa menuju sitoplasma, tepatnya Ribosom untuk dibaca (translasikan) menjadi rangkaian asam amino.	1
	mRNA: membawa kode genetik dari kromosom ke ribosom.		1
Kromosom	Gonosom adalah sel reproduksi	Sel gamet memiliki kromosom yang haploid. Kromosom ini dapat menghasilkan sifat diploid jika sel gamet jantan membuahi sel gamet betina dan terjadi pembuahan membentuk zigot yang bersifat diploid.	1
	Kromosom autosom berfungsi mengendalikan sifat-sifat tubuh, sedangkan kromosom gonosom berfungsi menentukan jenis kelamin.		6
	Kromosom autosom terdapat di seluruh tubuh sedangkan kromosom gonosom terdapat hanya di sel kelamin		9
Replikasi DNA	Replikasi berfungsi melakukan transkripsi dengan membentuk mRNA	proses yang termasuk dalam sintesis protein dengan hasil akhir menghasilkan mRNA adalah proses transkripsi, bukan Replikasi DNA.	9
Sintesis Protein	Translasi merupakan proses pembacaan kode genetik DNA	Molekul yang diterjemahkan bukanlah asam amino, melainkan	2

	Translasi merupakan proses penerjemahan asam amino yang dibawa oleh tRNA	mRNA menjadi rangkaian asam amino.	1
Tier 3			
Gen dan Pewarisan Sifat	gen merupakan bagian dari DNA yang terkecil serta memiliki kegunaan sebagai penentu/pengendali sifat keturunan.	Gen merupakan materi genetik yang terdiri dari asam nukleat dan protein, sehingga gen bukan bagian dari DNA.	1
	gen berbentuk DNA yang melekat pada seuntai RNA		1
DNA dan RNA	DNA adalah suatu molekul yang membawa sifat dan memiliki gula ribosa	Materi genetik yang memiliki gula ribosa merupakan RNA.	2
	adenin dan timin membentuk 3 ikatan hidrogen	Adenin dengan Timin diikat dengan 2 rangkap ikatan hidrogen,	1
	guanin dan sitosin memiliki 3 ikatan hidrogen	sementara pasangan Guanin dan Sitosin akan diikat dengan 3 rangkap ikatan hidrogen.	2
	letak DNA berada di nukleus dan struktur DNA yaitu double helix	DNA bukan hanya terdapat di dalam nukleus, tetapi juga terdapat dalam mitokondria, kloroplas (tumbuhan), dan sitoplasma (prokariotik).	2
	mRNA adalah cetakan dari DNA, tRNA adalah pembawa kodon yang sesuai dengan antikodon dan rRNA adalah tempat terjadinya sintesis protein.	mRNA membawa pesan dari DNA yang akan dibawa menuju sitoplasma, tepatnya Ribosom untuk dibaca (translasikan) menjadi rangkaian asam amino.	1
	rRNA membawa pesan DNA, tRNA menerjemahkan		2
	mRNA berperan sebagai cetakan polipeptida tRNA pembentuk ribosom		2
Kromosom	kromosom autosom merupakan pembawa ciri atau sifat pada tubuh. Sedangkan kromosom gonosom merupakan penentu jenis kelamin pada manusia	Kromosom gonosom bukan hanya terdapat dalam sel gamet (kelamin), tetapi juga terdapat dalam sel somatis (tubuh). Kromosom autosom juga bukan hanya terdapat di dalam sel somatis, tetapi juga terdapat di dalam sel gamet.	2
	Kromosom autosom adalah kromosom yang berada di seluruh tubuh kecuali di sel gamet sedangkan kromosom gonosom adalah kromosom yang berada di sel gamet.		13
Replikasi DNA	DNA polimerase membentuk untaian DNA baru dengan menambahkan nukleotida—dalam hal ini, deoksiribonukleotida—ke ujung 3'-hidroksil bebas sama sekali nukleotida rantai DNA yang sedang tumbuh.	Arah penambahan nukleotida pada untaian baru memanjang dari arah 5' ke 3'. Kemampuan ini menyebabkan proses Replikasi pada kedua untaian berbeda, ada yang terjadi secara terus menerus (<i>leading strand</i>) dan ada yang terjadi secara terputus-putus (<i>lagging strand</i>).	7

Sintesis Protein	Proses sintesis protein terdiri dari tiga tahap	Proses sintesis protein berlangsung dalam dua tahap, yakni transkripsi dan translasi. Sementara itu, replikasi DNA tidak termasuk dalam rangkaian tahapan sintesis protein.	1
	Yang terjadi di nukleus adalah transkripsi dan translasi	Transkripsi terjadi di nukleus, sementara translasi terjadi di ribosom (sitoplasma).	1
	Transkripsi terjadi di mRNA yang kemudian dipindahkan oleh tRNA		1
	Rantai sense hanya sebagai coding sedangkan antisense hanya sebagai cetakan	Rantai sense tidak hanya sebagai coding dalam proses replikasi DNA, tetapi juga dapat dijadikan sebagai cetakan untuk menghasilkan RNA.	2
	Translasi adalah proses perubahan DNA menjadi polipeptida	Proses perubahan DNA menjadi peptide merupakan proses translasi.	1

Subkonsep kromosom

Miskonsepsi pada subkonsep Kromosom terdapat pada soal nomor 9 (52,87%) dengan 35,63% miskonsepsi murni, 9,20% miskonsepsi False Positive, dan 8,05% miskonsepsi False Negative. Sebagian besar siswa yang mengalami miskonsepsi pada soal ini karena siswa menganggap bahwa sel gamet memiliki kromosom diploid ($2n$) yang berjumlah 46 pasang kromosom dengan 23 pasang (AA) kromosom autosom dan sepasang kromosom gonosom (XY). Selain itu, siswa juga mengalami miskonsepsi pada sel gamet perempuan dan laki-laki. Mereka menganggap bahwa sel gamet laki-laki dan perempuan memiliki kesamaan, yaitu $22A+XY$. Miskonsepsi selanjutnya yaitu siswa menganggap bahwa sel gamet dan sel somatis memiliki jumlah kromosom yang sama. Konsep yang benar yaitu sel gamet memiliki kromosom yang haploid. Kromosom akan membentuk sifat diploid apabila sel gamet Jantan membuahi sel gamet betina, sehingga terjadi pembuahan yang menghasilkan zigot dengan sifat diploid (Effendi, 2020).

Subkonsep gen dan pewarisan sifat

Miskonsepsi pada subkonsep Gen dan Pewarisan Sifat berada pada soal nomor 1 dan 2. Persentase terbesar dalam subkonsep ini berasal dari soal nomor 1, yaitu 47,13%. Miskonsepsi terbanyak yang dialami siswa dalam soal ini yaitu siswa menganggap bahwa hanya gen yang berperan dalam karakteristik morfologi makhluk hidup. Pemahaman ini merupakan kesalahpahaman karena morfologi yang muncul pada makhluk hidup bukan hanya ditentukan oleh ekspresi gen-gen yang saling berinteraksi, tetapi juga ditentukan oleh kondisi lingkungan yang mempengaruhi ekspresi gen-gen tersebut (Nusantari, 2015).

Persentase miskonsepsi siswa pada soal nomor 2 mencapai 40,23%. Kesalahan pemahaman ini terjadi karena siswa belum sepenuhnya memahami konsep asam nukleat,

sehingga mereka menganggap bahwa seluruh materi genetik, termasuk kromosom dan gen, merupakan asam nukleat karena keduanya, bersama dengan DNA dan RNA, berperan dalam pewarisan sifat makhluk hidup. Padahal, konsep yang tepat pada soal tersebut menurut Nusantara (2015) yakni kromosom bukanlah asam nukleat, melainkan struktur genetik yang tersusun atas asam nukleat dan protein. Kromosom sebagai materi genetik hanya ditemukan pada organisme eukariotik, sedangkan pada organisme lain, materi genetiknya berupa asam nukleat murni seperti DNA atau RNA.

Subkonsep sintesis protein

Miskonsepsi pada subkonsep Sintesis Protein berasal dari soal nomor 13 (47,13%), soal nomor 10 (42,53%), dan soal nomor 14 (39,16%). Pada soal nomor 13, siswa mengalami miskonsepsi dengan mengira bahwa urutan asam amino yang terbentuk merupakan hasil penerjemahan dari untai antisense. Selain itu beberapa siswa yang menjawab dengan pola ini juga menganggap bahwa sense merupakan DNA *template*. Siswa yang mengalami miskonsepsi pada soal ini sebenarnya tidak mengetahui perbedaan sense, antisense, kodon dan antikodon yang baik. Selain itu terdapat juga siswa yang tertukar mengenai pengertian sense dan antisense. Dalam proses transkripsi, hanya satu untai DNA yang dapat ditranskripsikan. Untai ini dinamakan dengan untai cetakan (*template strand*). Untai ini memiliki arah 3' – 5' (Campbell et al., 2010). Untai cetakan ini juga dikenal dengan nama Antisense (non-coding), sedangkan untai DNA yang lainnya (non-template) disebut dengan sense (coding) (Allison, 2007).

Pada soal nomor 10, siswa mengalami miskonsepsi dengan meyakini bahwa tahapan dalam proses sintesis protein meliputi replikasi, transkripsi, dan translasi. Mereka keliru memasukkan replikasi sebagai bagian dari proses sintesis protein. Padahal, berdasarkan penjelasan dari Campbell et al. (2010), sintesis protein hanya terdiri dari dua tahap, yaitu transkripsi dan translasi. Selain itu, siswa juga menunjukkan pemahaman yang tercampur antara proses sintesis protein secara keseluruhan dan tahapan yang terdapat dalam transkripsi maupun translasi. Hal ini terlihat dari anggapan mereka bahwa “penggabungan” merupakan bagian dari proses sintesis protein, padahal istilah tersebut merujuk pada salah satu tahap dalam proses transkripsi dan translasi (Campbell et al., 2010).

Miskonsepsi yang terjadi pada soal nomor 14 yaitu siswa meyakini bahwa translasi merupakan penerjemahan asam amino yang dibawa oleh tRNA. Hal ini merupakan Miskonsepsi karena molekul yang diterjemahkan bukanlah asam amino, melainkan mRNA menjadi rangkaian asam amino (Yuwono, 2005). Beberapa siswa juga memahami translasi sebagai proses perubahan mRNA menjadi asam amino, padahal yang benar adalah bahwa mRNA tidak berubah menjadi molekul lain, melainkan informasi genetik yang dikandungnya diterjemahkan menjadi urutan asam amino. Selain itu, terdapat pula siswa yang percaya bahwa translasi adalah proses pembentukan asam amino dari kode genetik dalam mRNA. Ini juga merupakan miskonsepsi, karena asam amino sudah tersedia di sitoplasma. Sel mampu

menyediakan 20 jenis asam amino baik melalui sintesis dari senyawa lain maupun dengan menyerapnya dari lingkungan sekitarnya (Campbell et al., 2010).

Subkonsep DNA dan RNA

Subkonsep dengan Tingkat miskonsepsi keempat tertinggi adalah DNA dan RNA, dengan persentase sebesar 32,25%. Subkonsep ini mencakup lima soal, yakni nomor 3,4,6,7, dan 8. Soal nomor 7 mencatat Tingkat miskonsepsi tertinggi sebesar 47,13%, di mana siswa masih kesulitan membedakan antara basa Purin dan Pirimidin serta belum memahami lokasi DNA dalam sel. Banyak siswa keliru dengan menyatakan bahwa perbedaan antara DNA dan RNA terdapat pada basa Purinnya, padahal perbedaannya terletak pada basa Pirimidin: DNA mengandung Timin sedangkan RNA mengandung Urasil (Susilowati et al., 2011).

Tingkat miskonsepsi tertinggi kedua terdapat pada soal nomor 6 sebesar 41,38%. Beberapa siswa keliru mengidentifikasi gambar molekul RNA dalam soal sebagai asam amino, DNA, atau enzim. Padahal, ciri molekul yang ditampilkan adalah rantai Tunggal dengan basa nitrogen Adenin, Guanin, Timin, dan Urasil, sebagaimana dijelaskan oleh Irawan (2008), bahwa RNA terdiri dari Adenin, Guanin, Sitosin, dan Urasil.

Selanjutnya, soal nomor 8 memiliki Tingkat miskonsepsi sebesar 36,78%. Siswa cenderung menganggap bahwa tRNA berfungsi menerjemahkan asam amino, atau bahwa mRNA membawa informasi langsung dari DNA ke asam amino. Pemahaman ini salah karena sebenarnya mRNA membawa informasi genetik dari DNA ke ribosom di sitoplasma, tempat informasi tersebut diterjemahkan menjadi urutan asam amino (Campbell et al., 2010).

Pada soal nomor 3, Tingkat miskonsepsi adalah 31,03%. Sebagian siswa percaya bahwa DNA terdiri dari nukleotida dan protein, padahal DNA hanya tersusun atas nukleotida yang mencakup gula deoksiribosa, fosfat, dan basa nitrogen. Molekul yang mengandung nukleotida dan protein adalah kromosom, bukan DNA (Campbell et al., 2010).

Soal nomor 4 menunjukkan Tingkat miskonsepsi terendah pada subkonsep ini, yakni 22,99%. Siswa mengalami berbagai kekeliruan seperti menghubungkan ikatan hidrogen antara pasangan basa yang salah atau bahkan antara struktur yang tidak relevan seperti DNA dan RNA. Konsep yang benar adalah bahwa basa Purin (Adenin dan Guanin) hanya dapat berikatan dengan basa Pirimidin (Timin dan Sitosin) melalui ikatan hidrogen: Adenin berpasangan dengan Timin melalui dua ikatan hidrogen, sedangkan Guanin berpasangan dengan Sitosin melalui tiga ikatan hidrogen (Simon et al., 2017).

Subkonsep replikasi DNA

Subkonsep dengan tingkat miskonsepsi terendah adalah Replikasi DNA, dengan total tiga soal: nomor 5, 11, dan 12, dan rata-rata miskonsepsi sebesar 32,57%. Soal nomor 5 mencatat miskonsepsi tertinggi sebesar 40,23%, di mana siswa menganggap replikasi DNA sebagai bagian dari sintesis protein dan menyamakannya dengan transkripsi. Pemahaman ini

salah karena sintesis protein hanya melibatkan transkripsi dan translasi, bukan replikasi (Campbell et al., 2010).

Pada soal nomor 12 (32,18%), banyak siswa memahami arah replikasi pada leading dan lagging strand secara keliru. Mereka menganggap replikasi pada leading strand berjalan dari 5' ke 3', dan sebaliknya pada lagging strand dari 3' ke 5'. Padahal, menurut Campbell et al. (2010), penambahan nukleotida selalu terjadi ke arah 5' ke 3', dan perbedaan laju replikasi di kedua untai disebabkan oleh orientasi antiparalel DNA dan aktivitas enzim DNA polimerase. Replikasi yang berlangsung terus-menerus terjadi pada leading strand, sedangkan pada lagging strand berlangsung secara terputus-putus dalam bentuk fragmen Okazaki.

Tingkat miskonsepsi terendah pada subkonsep ini terdapat pada soal nomor 11, sebesar 25,29%. Kesalahan umum siswa antara lain menyangka bahwa enzim ligase bertugas mempercepat replikasi, membuka rantai DNA ganda, atau membentuk RNA primer. Faktanya, ligase berfungsi menyambungkan fragmen DNA. Enzim yang mempercepat proses replikasi adalah DNA polimerase, helikase membuka heliks ganda, dan primase membentuk RNA primer (Yuwono, 2005).

Wawancara terhadap peserta didik mengungkapkan bahwa sumber utama miskonsepsi berasal dari dalam diri siswa sendiri, yaitu pemahaman yang keliru atas pengalaman atau penjelasan guru. Hal ini sesuai dengan temuan Rohmah et al. (2023) yang menyebut faktor internal sebagai penyebab utama miskonsepsi. Mereka juga menambahkan bahwa kompleksitas materi, kemampuan guru, metode mengajar, dan penggunaan buku yang tidak sesuai turut berkontribusi. Oleh karena itu, guru diharapkan mampu menciptakan pembelajaran yang menarik dan kontekstual, menggunakan alat bantu visual, memastikan pemahamannya akurat, serta memilih buku ajar yang bebas dari miskonsepsi.

KESIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa mayoritas siswa SMA Negeri di Kabupaten Brebes menunjukkan pemahaman yang rendah terhadap materi Substansi Genetik. Hal ini tercermin dari tingginya persentase siswa yang tidak memahami konsep, yakni sebesar 52,50%, yang lebih tinggi dibandingkan dengan siswa yang mengalami miskonsepsi (39,10%) maupun siswa yang memahami konsep dengan baik (9,40%). Miskonsepsi yang dialami siswa tergolong dalam kategori sedang, dengan jenis miskonsepsi paling dominan adalah miskonsepsi murni. Kesalahan pemahaman ini tersebar di seluruh butir soal dengan variasi persentase yang berbeda. Subkonsep dengan tingkat miskonsepsi tertinggi terdapat pada topik Kromosom, dengan persentase sebesar 52,87%. Banyak siswa keliru memahami bahwa sel gamet memiliki jumlah kromosom diploid (2n), yaitu 46 kromosom yang terdiri dari 23 pasang kromosom autosom (AA) dan satu pasang kromosom seks (XY).

Bagi guru, penelitian ini dapat membantu dalam mengidentifikasi miskonsepsi siswa. Dengan begitu, guru dapat melakukan remediasi pada materi substansi genetik. Guru dapat melakukan refleksi kegiatan pembelajaran yang sudah diterapkannya serta melakukan

perbaikan. Guru juga memastikan bahwa pemahaman yang dimilikinya tidak mengalami miskonsepsi. Bagi penulis buku, penelitian ini dapat menjadi acuan agar memastikan materi yang terdapat dalam buku tidak mengandung miskonsepsi. Dari penelitian ini, pembuat kebijakan pendidikan dapat mengadakan pelatihan guru agar terhindar dari miskonsepsi. Sementara bagi peneliti selanjutnya diharapkan dapat membuat pengembangan instrumen yang dapat digunakan dengan cukup mudah oleh guru seperti memanfaatkan teknologi dalam pelaksanaan tes.

REFERENSI

- Agustin, U., Susilaningih, E., Nurhayati, S., & Wijayati, D. N. (2022). Pengembangan Instrumen Tes Diagnostik Four-Tier Multiple Choice untuk Identifikasi Miskonsepsi Siswa pada Materi Keseimbangan Kimia. *CiE*, 11(1), 1–7. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/chemined>
- Allison, L. A. (2007). *Fundamental Molekular Biology*. Blackwell Publisher.
- Azizah, N., & Alberida, H. (2021). Journal for Lesson and Learning Studies Seperti Apa Permasalahan Pembelajaran Biologi pada Siswa SMA? *Journal for Lesson and Learning Studies*, 4(3), 388–395. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JLLS>
- Caleon, I. S., & Subramaniam, R. (2010). Do students know What they know and what they don't know? Using a four-tier diagnostic test to assess the nature of students' alternative conceptions. *Research in Science Education*, 40(3), 313–337. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9122-4>
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2010). *Biologi Edisi 8 (Jilid 3)* (8th ed.). Erlangga.
- Didik, L. A., Wahyudi, M., & Kafrawi, M. (2020). Identifikasi Miskonsepsi dan Tingkat Pemahaman Mahasiswa Tadris Fisika pada Materi Listrik Dinamis Menggunakan 3-Tier Diagnostic Test. *JNSI: Journal of Natural Science and Integration*, 3(2), 128–137. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24014/jnsi.v3i2.9911>
- Effendi, Y. (2020). *Buku Ajar Genetika Dasar*. Pustaka Rumah Cinta.
- 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>
- Hasan, S., Bagayoko, D., & Kelley, E. L. (1999). Misconceptions and the certainty of response index (CRI). *Physics Education*, 34(5), 294–299. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/34/5/304>
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33(8), 502–502. <https://doi.org/10.1119/1.2344278>
- Irawan, B. (2008). *Genetika Molekuler*. Airlangga University Press.

- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2019). *Hasil Ujian Nasional*. Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan.
- Kurniawati, I. L., Setyosari, P., Dasna, I. W., & Praherdhiono, H. (2022). *Problem-Based Flipped Classroom dalam Pembelajaran Sains*. Deepublish.
- Mukhlisa, N. (2021). Miskonsepsi Pada Peserta Didik. *SPEED Journal: Journal of Special Education*, 4(2), 66–76. <https://doi.org/10.31537/speed.v4i2.403>
- Nasir, N. I. R. F., Mahanal, S., Ekawati, R., Damopolii, I., Supriyono, S., & Rahayuningsih, S. (2024). Primary school students' knowledge about animal life cycle material: The survey study. *Journal of Research in Instructional*, 4(1), 253–262. <https://doi.org/10.30862/jri.v4i1.320>
- Nasir, N. I. R. F., Purwaningsih, E., Ekawati, R., & Yambi, T. D. A. C. (2024). An analysis of primary school students' scientific literacy. *Journal of Research in Instructional*, 4(2), 623–634. <https://doi.org/10.30862/jri.v4i2.544>
- Nuriyah, S., Winarno, N., Kaniawati, I., Fadly, W., & Sujito, S. (2024). Analyzing students' conceptions in simple electric circuits topic using four-tier diagnostic test. *Journal of Research in Instructional*, 4(1), 295–313. <https://doi.org/10.30862/jri.v4i1.339>
- Nusantari, E. (2014). Genetics Misconception on High School Textbook, the Impact and Importance on Presenting the Order of Concept through Reorganization of Genetics. *Journal of Education and Practice*, 5(36), 20–28. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEP/article/view/17467>
- Nusantari, E. (2015). *Genetika: Belajar Genetika Dengan Mudah & Komprehensif*. Deepublish.
- Rohmah, M., Priyono, S., Resti, D., & Sari, S. S. (2023). Analisis Faktor-faktor Penyebab Miskonsepsi Peserta Didik SMA. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dan Ekonomi*, 7(2), 39–47. <http://journal.unuha.ac.id/index.php/utility>
- Simon, E. J., Dickey, J. L., Hogan, K. A., & Reece, J. B. (2017). *Intisari Biologi* (6th ed.). Erlangga.
- Sobah CH, S. N., Munawar, W., & Hamdani, A. (2019). Eliminate Misconception in Learning. *Proceedings of the 5th UPI International Conference on Technical and Vocational Education and Training*. <https://doi.org/10.2991/ictvet-18.2019.94>
- Soeharto, Csapó, B., Sarimanah, E., Dewi, F. I., & Sabri, T. (2019). A review of students' common misconceptions in science and their diagnostic assessment tools. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(2), 247–266. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i2.18649>
- Soeharto, S., & Csapó, B. (2022). Exploring Indonesian student misconceptions in science concepts. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10720>
- Sudirman, Kondolayuk, M. L., Sriwahyuningrum, A., Cahaya, I. M. E., Astuti, N. L. S., Setiawan, J., Tandirerung, W. Y., Rahmi, S., Nusantara, D. O., Indrawati, F., Fitriya, N. L., Aziza, N., Kurniawati, N., Wardhana, A., & Hasanah, T. (2023). *Metodologi Penelitian 1*. Media Sains Indonesia.

- Suprpto, N. (2020). Do We Experience Misconceptions?: An Ontological Review of Misconceptions in Science. *Studies in Philosophy of Science and Education*, 1(2), 50–55. <https://doi.org/10.46627/sipose.v1i2.24>
- Susilowati, Wahyuningsih, T., Rahayu, U., Susanto, P., Sukiniarti, Mestika, Ristansa, R., Ratnaningsih, A., Hutasoit, L. R., & Rumanta, M. (2011). *Materi Kurikuler Biologi SMA*. Universitas Terbuka.
- Syahrul, D. A., & Setyarsih, W. (2015). Identifikasi Miskonsepsi dan Penyebab Miskonsepsi Siswa dengan Three-tier Diagnostic Test Pada Materi Dinamika Rotasi. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika (JIPF)*, 04(03), 67–70. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-pendidikan-fisika/article/view/13305>
- Tekkaya, C. (2002). Misconception As Barrier To Understanding Biology. *Hacettepe Oniversitesi Egitim Fakilltesi Dergisi*, 23, 259–266. <http://www.efdergi.hacettepe.edu.tr/yonetim/icerik/makaleler/971-published.pdf>
- Treagust, D. (1986). Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple choice items. *Research in Science Education*, 16(1), 199–207. <https://doi.org/10.1007/BF02356835>
- Uswatun, & Mubarak, S. (2024). Pengembangan Instrumen Tes Diagnostik Four-Tier untuk Mengidentifikasi Miskonsepsi Materi Konsep Mol dan Stoikiometri. *Al Kawnu: Science and Local Wisdom Journal*, 4(1), 34–49. <https://doi.org/10.18592/ak.v4i1.13838>
- Verkade, H., Mulhern, T. D., Lodge, J. M., Elliott, K., Cropper, S., Rubinstein, B. I. P., Espinosa, A., Livett, M., Dooley, L., Frankland, S., & Mulder, R. (2017). *Misconceptions as a trigger for enhancing student learning in higher education A handbook for educators*. The University of Melbourne
- Winarno, N., Afifah, R. M. A., Sihombing, R. A., Firdaus, R. A., & Damopolii, I. (2025). Analyzing Misconceptions Using Four-tier Test on the Topic of Vibration: A Survey of Pre-service Science Teachers. *Unnes Science Education Journal*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.15294/usej.v14i1.20612>
- Wulandari, S., Gusmalini, A., & Zulfarina. (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>
- Yuwono, T. (2005). *Biologi Molekular*. Erlangga.