



KEMAMPUAN ARGUMENTASI ILMIAH MAHASISWA BIOLOGI ISDIK KIE RAHA MALUKU UTARA

Taufiq Taher¹, Ermin², Rifai Kasman³, Muhammad Hidayat⁴, Muhammad Iksan B. Ali⁵,
Jena Andres⁶, Najamudin Marsaoly⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Institut Sains dan Kependidikan Kie Raha Maluku Utara

Email: aufieq@gmail.com¹, mincesermin@gmail.com²,

rifaikasman.dt2023@gmail.com³, hidyat5@gmail.com⁴,

iksanaly90@gmail.com⁵, jena.andres83@gmail.com⁶, nhajamarsaoly@gmail.com⁷

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa Program Studi Biologi ISDIK Kie Raha berdasarkan perbedaan tingkat semester. Sebanyak empat kelompok semester (1, 3, 5, dan 7) dinilai menggunakan tujuh indikator argumentasi: argumentasi logis, menganalisis data, menyusun kesimpulan, literasi digital, berpikir kritis, penggunaan bukti, dan argumentasi lisan. Data diperoleh melalui lembar observasi dan dianalisis menggunakan statistik deskriptif, ANOVA satu arah, dan uji lanjut Tukey HSD. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan kemampuan argumentasi seiring kenaikan semester ($p < 0,05$). Mahasiswa semester 1 berada pada tahap awal dengan kemampuan argumentasi dasar, sementara semester 3 menunjukkan perkembangan moderat. Semester 5 mengalami peningkatan substansial pada indikator analisis data dan penggunaan bukti, dan semester 7 mencapai skor tertinggi pada hampir seluruh indikator, menunjukkan argumentasi ilmiah yang lebih matang dan terstruktur. Peningkatan ini dipengaruhi oleh pengalaman akademik, keterlibatan dalam praktikum, kegiatan penelitian, dan diskusi ilmiah. Penelitian menyimpulkan bahwa kurikulum telah mendukung perkembangan argumentasi ilmiah mahasiswa, namun diperlukan penguatan pembelajaran argumentatif sejak semester awal untuk memastikan perkembangan yang lebih merata. Temuan ini memberikan implikasi bagi pengembangan strategi pembelajaran berbasis bukti di pendidikan tinggi.

Kata Kunci: Argumentasi Ilmiah, Pembelajaran Biologi, survei kemampuan mahasiswa.

ABSTRACT

This study aims to analyze the scientific argumentation skills of Biology students at ISDIK Kie Raha across different academic semesters. Four semester groups (1, 3, 5, and 7) were assessed using seven indicators of argumentation: logical reasoning, data analysis, conclusion development, digital literacy, critical thinking, use of evidence, and oral argumentation. Data were collected through observation sheets and analyzed using descriptive statistics, one-way ANOVA, and Tukey HSD post hoc tests. The results indicate a significant increase in argumentation skills with higher semesters ($p < 0.05$). First-semester students demonstrated basic argumentation abilities, while third-semester students showed moderate improvement. Substantial gains were observed in the fifth semester, particularly in data analysis and evidence use. Seventh-semester students achieved the highest scores across most indicators, reflecting more advanced, coherent, and evidence-based scientific argumentation. These improvements were influenced by academic experience, laboratory activities, research engagement, and scientific discussions. The study concludes that the curriculum effectively supports the development of students' argumentation skills; however, strengthening argumentation-based learning is necessary at earlier semesters to ensure more consistent progression. The findings provide important implications for the implementation of evidence-oriented and inquiry-driven instructional strategies in higher education.

Keywords: Scientific Argumentation, Biology Education, Student Ability Survey.

PENDAHULUAN

Argumentasi sangat penting bagi pendidikan sains (Wilson et al., 2024) karena standar epistemik sains menuntut argumen yang kuat dikaitkan dengan banyak manfaat seperti mengembangkan keterampilan kritis, semangat penyelidikan, meningkatkan pemahaman konseptual dan kinerja akademik (Wu, 2024) serta sebagai kemampuan penting untuk mengembangkan pemikiran kritis berpikir ilmiah (Hardini & Alberida, 2022) dan termasuk keterampilan kunci dalam pendidikan sains (Faize et al., 2017). Argumentasi memainkan peran penting ketika berurusan dengan isu kontroversial ilmiah dengan kinerja yang dipengaruhi oleh keyakinan (Noroozi, 2023). Kontra argumen dalam berbagai konteks sangat penting, dan argumentasi yang efektif adalah titik fokus kritik dan keputusan yang tepat (Demircioglu et al., 2023); Michael Nussbaum, 2008).

Argumentasi ilmiah merupakan kegiatan yang memberikan penjelasan berdasarkan teori dan data yang dapat meningkatkan pemahaman (Arianti et al., 2024) dan argumentasi ilmiah juga merupakan bagian dari penalaran berbasis pengetahuan di pendidikan tinggi (Baytelman et al., 2020) yang tidak hanya harus kritis dalam memberikan bukti, tetapi juga mengakui keragaman untuk dapat mengubah dan menyesuaikan pikiran (Ferretti & Graham, 2019).

Keterampilan argumentasi ilmiah merupakan keterampilan yang perlu dibekalkan (Dliya Yustika Mardani et al., 2023) serta merupakan kemampuan esensial yang harus dikuasai sebagai bagian dari literasi sains (Sari & Nada, 2022). Oleh karena itu, argumentasi ilmiah termasuk keterampilan penting yang harus dimiliki oleh mahasiswa untuk mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang konsep-konsep berkenaan dengan 1) menyusun argumen yang logis dan berbasis bukti; 2) Mengevaluasi argumen orang lain secara kritis; 3) Menggunakan data dan bukti ilmiah untuk mendukung atau menolak klaim; dan 4) Berpartisipasi dalam diskusi ilmiah yang konstruktif (Setiawan & Jumadi, 2023).

Topik ini penting untuk dibahas karena memiliki hubungan yang erat dengan keterampilan abad ke-21 (Suliyana et al., 2024) dan termasuk tren penelitian paling banyak dilakukan bidang kimia dan sains teknologi (Setyaningsih & Rahayu, 2023). Selain itu, topik penelitian ini juga mendukung implementasi Kurikulum Merdeka yang mendorong pengembangan karakter dan kemampuan berpikir kritis. Penelitian ini berpotensi memperkuat basis ilmiah tentang pendidikan sains di Indonesia dan memberikan wawasan baru. Dengan fokus pada aspek praktis dan implikasi luasnya, penelitian ini akan memberikan kontribusi besar pada dunia pendidikan, baik di tingkat mikro (kelas dan Lembaga) maupun makro (kebijakan pendidikan nasional).

Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa mahasiswa dengan kognitif reflektif menunjukkan argumentasi yang lebih tinggi (Limbong et al., 2025) sedangkan beberapa strategi dan model yang bisa di terapkan untuk meningkatkan argumentasi ilmiah di antaranya: media game edukasi berbasis aplikasi (Putri et al., 2024), model pembelajaran Argument Driven Inquiry (Rhahmadanny et al., 2024), Toulmin's Argumentation Pattern (TAP) (Egi Candra et al., 2024), inkuiri bermuatan Nature Of Science (NOS) (Azzahroh et al., 2024) dan mengintegrasikan pengajaran argumentasi eksplisit ke dalam pengajaran meningkatkan kinerja baik dalam pengetahuan biologis maupun argumentasi (Zohar & Nemet, 2002).

Argumentasi ilmiah adalah inti dari pemikiran kritis dan kemampuan berpikir berbasis bukti. Dengan memahami pengaruh tingkatan semester terhadap kemampuan ini, dosen dapat mengidentifikasi strategi pengajaran yang paling efektif untuk membantu mahasiswa mengasah keterampilan berpikir ilmiah sesuai dengan tahap perkembangan akademik mereka. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh tingkatan semester terhadap kemampuan argumentasi ilmiah dengan rumusan masalah “Apakah terdapat perbedaan signifikan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa ditinjau dari perbedaan semester?“

Hasil Penelitian ini dapat menjadi dasar untuk menyusun kurikulum yang lebih adaptif dan relevan dengan kebutuhan, menjembatani kesenjangan dalam literatur akademik tentang bagaimana tingkat semester memengaruhi penguasaan keterampilan argumentasi ilmiah. Hasilnya akan menjadi referensi penting bagi pengembang program studi dan kebijakan pendidikan dan, rekomendasi dari hasil penelitian ini dapat diterapkan langsung untuk meningkatkan praktik pembelajaran di kelas, sehingga berdampak positif pada kualitas mahasiswa secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain survei cross-sectional untuk menganalisis perbedaan kemampuan argumentasi ilmiah antar mahasiswa berdasarkan semester studi. Populasi penelitian meliputi seluruh mahasiswa Program Studi Biologi di ISDIK Kie Raha. Sampel penelitian diperoleh melalui teknik stratified random sampling berdasarkan semester (1, 3, 5, dan 7). Setiap strata diwakili oleh 7 mahasiswa, sehingga total sampel yang digunakan adalah 28 mahasiswa.

Instrumen penelitian terdiri dari kuesioner dan lembar observasi. Kuesioner mencakup pertanyaan demografis serta pertanyaan utama berdasarkan tujuh indikator kemampuan argumentasi ilmiah, yaitu: Kemampuan Merumuskan Masalah, Kemampuan Menyusun Argumentasi Logis, Kemampuan Menganalisis Data, Kemampuan Menyusun Kesimpulan, Literasi Digital, Kemampuan Berpikir Kritis dan, Kemampuan Menyusun Argumentasi Lisan.

Kuesioner tersebut diuji validitas isinya melalui penilaian ahli (expert judgement) di bidang pendidikan dan biologi, serta reliabilitasnya diukur menggunakan Cronbach's Alpha untuk memastikan konsistensi internal. Lembar observasi disiapkan untuk menilai praktik argumentasi ilmiah mahasiswa selama proses pembelajaran. Lembar observasi ini mencakup kriteria yang sama dengan ketujuh indikator dalam kuesioner sehingga data yang diperoleh saling melengkapi.

Pengumpulan data dilakukan dengan menyebarluaskan kuesioner secara langsung kepada mahasiswa terpilih. Setiap responden diberi penjelasan singkat mengenai tujuan penelitian dan instruksi pengisian kuesioner. Selain pengisian kuesioner, peneliti juga melakukan observasi langsung terhadap aktivitas argumentasi ilmiah mahasiswa selama proses menggunakan lembar observasi. Pendekatan pengumpulan data secara langsung ini dilakukan untuk memastikan keakuratan dan kelengkapan data.

Data yang terkumpul dari kuesioner dan lembar observasi dianalisis secara statistik. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik demografis sampel serta gambaran umum kemampuan argumentasi ilmiah di masing-masing semester. Selanjutnya, untuk menguji adanya perbedaan signifikan rata-rata kemampuan argumentasi ilmiah antar semester, digunakan uji ANOVA satu arah (analisis ragam). Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan ($\alpha = 0,05$), maka

dilakukan uji lanjutan post-hoc (misalnya Tukey HSD) untuk menentukan pasangan semester yang berbeda.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Statistik Deskriptif Kemampuan Argumentasi Ilmiah Berdasarkan Semester

Penelitian ini menganalisis kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa berdasarkan tujuh indikator utama: Merumuskan Masalah (RM), Argumentasi Logis (AL), Menganalisis Data (MD), Menyusun Kesimpulan (MK), Literasi Digital (LD), Berpikir Kritis (BK), dan Argumentasi Lisan (ALi). Setiap indikator dinilai pada skala 1–4, dengan skor total merupakan penjumlahan seluruh indikator (rentang 7–28).

Sebanyak 28 mahasiswa berpartisipasi, masing-masing tujuh orang dari semester 1, 3, 5, dan 7. Analisis deskriptif menunjukkan adanya pola peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah seiring bertambahnya semester. Deskriptif kemampuan sebagaimana pada tabel berikut:

Tabel Statistik Deskriptif Skor Total Kemampuan Argumentasi Ilmiah Mahasiswa

Semester	Mean	SD	Min	Max	n
1	15.29	2.06	13	19	7
3	19.00	1.15	17	20	7
5	23.00	2.41	20	27	7
7	26.14	0.99	25	28	7

Sumber: data yang diolah (2025)

Tabel tersebut menunjukkan bahwa skor rerata total mengalami peningkatan yang konsisten dari semester 1 ke semester 7. Perbedaan mean antar semester cukup jelas: mahasiswa semester 7 memiliki rerata tertinggi (26.14) dengan rentang nilai yang lebih homogen ($SD = 0.99$), sementara semester 1 memiliki rerata terendah (15.29) dan variasi terbesar ($SD = 2.06$). Hal ini memberikan indikasi awal bahwa kemampuan argumentasi ilmiah berkembang seiring peningkatan tahap akademik.

Statistik Deskriptif per Indikator Argumentasi

Untuk melihat dinamika perkembangan tiap indikator, statistik deskriptif per semester ditampilkan berikut:

Tabel Statistik Mean dan SD Tiap Indikator per Semester

Semester	RM	AL	MD	MK	LD	BK	ALi
1	2.29	2.00	2.14	2.00	2.57	2.00	2.00
3	2.71	2.71	2.86	2.71	2.86	3.00	2.71
5	3.29	3.29	3.29	3.00	3.43	3.14	3.57
7	3.71	3.71	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86

Sumber: Data yang diolah (2025)

Keterangan:

RM = Merumuskan Masalah

AL = Argumentasi Logis

MD = Menganalisis Data

MK = Menyusun Kesimpulan

LD = Literasi Digital

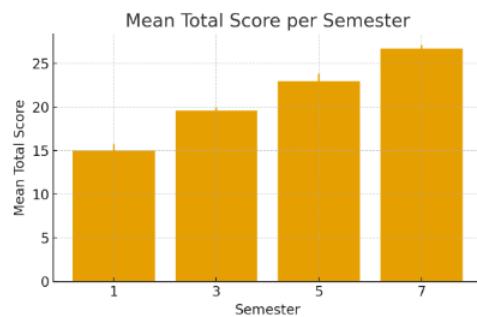
BK = Berpikir Kritis

ALi = Argumentasi Lisan

Secara umum, perkembangan paling signifikan tampak pada indikator Argumentasi Logis (AL), Menganalisis Data (MD), dan Argumentasi Lisan (ALi).

Ketiga indikator tersebut relevan dengan proses berpikir tingkat tinggi (higher-order thinking skills, HOTS) yang biasanya berkembang pada semester lanjut. Mahasiswa semester 7 mencapai skor mendekati maksimum di hampir semua indikator, khususnya pada AL, MD, dan MK, yang menunjukkan penguasaan kemampuan argumentatif yang lebih matang.

Untuk memperjelas pola peningkatan, grafik mean skor total per semester disajikan di bawah ini:

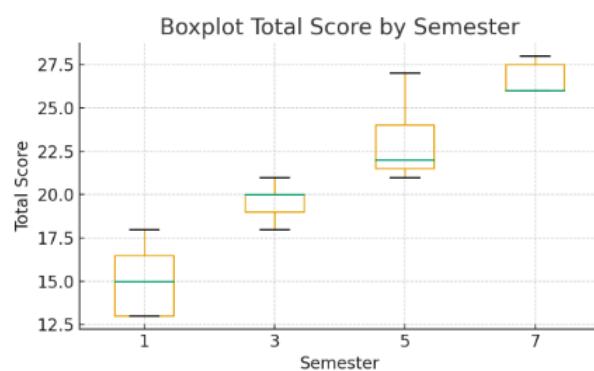


Gambar Grafik Rerata Skor Total Kemampuan Argumentasi Ilmiah per Semester

Sumber: data yang diolah (2025)

Grafik menunjukkan peningkatan linier yang kuat dari semester 1 ke semester 7. Jarak antarmorning rata-rata juga semakin besar pada transisi semester 1 → 3 dan semester 3 → 5, menunjukkan percepatan perkembangan kemampuan argumentasi pada masa pertengahan studi. Pada semester 7, mahasiswa tampak sudah mendekati tingkat penguasaan penuh dengan rentang skor yang lebih sempit.

Selain mean, variasi skor juga penting untuk mengetahui homogenitas kelompok mahasiswa. Boxplot di bawah menunjukkan distribusi skor total pada masing-masing semester.



Gambar Boxplot Skor Total Berdasarkan Semester

Sumber: data yang diolah (2025)

Boxplot memperlihatkan bahwa: Semester 1 dan 3 memiliki rentang nilai lebih lebar, menunjukkan variasi kemampuan yang lebih tinggi. Semester 5 mulai memperlihatkan konsistensi skor yang lebih baik. Semester 7 memiliki distribusi paling homogen yang mengindikasi bahwa sebagian besar mahasiswa telah mencapai tingkat kemampuan yang hampir sama.

Uji ANOVA: Perbedaan Kemampuan Argumentasi Antar Semester

Untuk mengetahui apakah perbedaan rerata antar semester signifikan secara statistik, dilakukan ANOVA satu arah. Hasilnya sebagai berikut:

Tabel Hasil ANOVA Satu Arah Variabel: Skor Total Argumentasi Ilmiah

Sumber Variasi	F	p-value	Keterangan
Semester	86.72	< 0.001	Signifikan
Error	-	-	-

Sumber: data yang diolah (2025)

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan skor total antar semester signifikan secara statistik ($p < 0.05$). Ini berarti peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah tidak terjadi secara kebetulan, melainkan berkaitan dengan tingkat semester mahasiswa.

Uji Lanjut (Post-hoc Tukey HSD)

Untuk mengetahui pasangan semester mana yang berbeda signifikan, dilakukan uji Tukey HSD dan berikut adalah hasilnya.

Tabel Hasil Uji Tukey HSD Perbandingan skor total antar semester

Perbandingan Semester	Perbedaan Mean	p-value	Keterangan
1 vs 3	3.71	< 0.001	Signifikan
1 vs 5	7.71	< 0.001	Signifikan
1 vs 7	10.86	< 0.001	Signifikan
3 vs 5	4.00	< 0.001	Signifikan
3 vs 7	7.14	< 0.001	Signifikan
5 vs 7	3.14	< 0.01	Signifikan

Sumber: Data yang diolah (2025).

Semua pasangan semester menunjukkan perbedaan signifikan. Ini menegaskan adanya peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah yang konsisten dari semester 1 → 7. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa berlangsung progresif seiring bertambahnya semester.

Gambaran Umum Perkembangan Kemampuan Argumentasi Ilmiah Mahasiswa

Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan yang konsisten dan signifikan dalam kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa dari semester 1 hingga semester 7. Peningkatan ini terlihat baik dari skor total (ANOVA signifikan, $p < 0.001$) maupun pada seluruh indikator argumentasi ilmiah. Temuan ini selaras dengan sejumlah penelitian yang menyatakan bahwa keterampilan argumentasi ilmiah berkembang seiring meningkatnya pengetahuan konten, pengalaman belajar, kapasitas berpikir kritis, dan kematangan kognitif mahasiswa.

Secara teoretis, argumentasi ilmiah merupakan kemampuan berpikir tingkat tinggi yang mencakup proses membangun klaim, pemberian bukti, penjelasan logis, dan pembentukan hubungan antara data dan kesimpulan (Zohar & Nemet, 2002; Ferretti & Graham, 2019). Kemampuan ini tidak muncul secara instan, tetapi berkembang bertahap seiring meningkatnya paparan mahasiswa terhadap aktivitas argumentatif, penyelesaian masalah ilmiah, dan pembelajaran berbasis inkuiiri.

Sejalan dengan itu, penelitian-penelitian pendidikan sains menunjukkan bahwa mahasiswa tingkat awal (tahun pertama) sering kali masih berada pada tahap awal kemampuan argumentatif misalnya hanya mampu menyampaikan klaim sederhana tanpa justifikasi kuat atau tanpa mengaitkan bukti dengan konsep teoretis (Arianti et al., 2024; Hardini & Alberida, 2022). Hal ini terlihat pula dalam hasil penelitian ini:

mahasiswa semester 1 hanya memperoleh skor rata-rata 15 dari total 28, yang mengindikasikan minimnya kualitas hubungan klaim-bukti serta keterbatasan dalam memberikan alasan ilmiah.

Sebaliknya, mahasiswa semester 5 dan 7 menunjukkan peningkatan yang lebih tajam, terutama pada indikator Menganalisis Data (MD), Argumentasi Logis (AL), serta Argumentasi Lisan (ALi). Peningkatan ini konsisten dengan temuan Noroozi, (2023) bahwa perkembangan epistemic beliefs dan pengetahuan konseptual merupakan prediktor kuat peningkatan kualitas argumentasi ilmiah di perguruan tinggi. Dengan demikian, temuan penelitian ini menguatkan bahwa perkembangan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa bersifat linier-progresif, sejalan dengan teori perkembangan kognitif dan model literasi sains modern (Faize et al., 2017).

Interpretasi Temuan Berdasarkan Indikator Argumentasi

Analisis per indikator memberikan gambaran lebih spesifik mengenai dinamika perkembangan argumentasi ilmiah. Beberapa pola menarik dapat diinterpretasikan. Rata-rata RM meningkat dari $2.29 \rightarrow 3.71$. Kemampuan merumuskan masalah ilmiah merupakan fondasi argumentasi karena kualitas argumen sangat tergantung pada kejelasan masalah yang dikaji. Pada semester awal, mahasiswa cenderung merumuskan masalah secara deskriptif dan kurang fokus pada aspek ilmiah. Temuan ini sejalan dengan penelitian Arianti et al., (2024) yang melaporkan bahwa siswa sering gagal mengidentifikasi masalah ilmiah yang relevan tanpa bimbingan struktur pembelajaran. Peningkatan signifikan pada semester 5 dan 7 menunjukkan bahwa paparan terhadap penelitian laboratorium, penulisan proposal riset, dan diskusi kelas yang lebih kritis mendorong kemampuan mahasiswa merumuskan permasalahan secara ilmiah dan terarah.

Rata-rata AL meningkat dari $2.00 \rightarrow 3.71$. Kenaikan ini merupakan bukti bahwa mahasiswa semakin mampu membangun argumen berdasarkan logika ilmiah, bukan sekadar opini. Temuan ini memperkuat hasil studi Baytelman et al., (2020) yang menyatakan bahwa penguasaan argumentasi logis sangat dipengaruhi oleh epistemic beliefs dan pemahaman konsep ilmiah. Di semester rendah, mahasiswa umumnya baru mampu menyampaikan pernyataan atau klaim tanpa memberikan reasoning yang kuat. Namun pada semester lanjut, mahasiswa lebih mampu mengaitkan bukti, teori, dan penalaran logis, sebagaimana juga ditemukan dalam penelitian Demircioglu et al., (2023) yang menegaskan bahwa pengalaman belajar berbasis inkuiri dan media interaktif meningkatkan logika argumentatif.

Rata-rata MD meningkat dari $2.14 \rightarrow 3.86$, yaitu peningkatan terbesar. Kemampuan analisis data sangat berkaitan dengan literasi sains dan metode ilmiah. Mahasiswa semester awal umumnya melihat data sebagai informasi mentah, sementara mahasiswa tingkat lanjut dapat menginterpretasikan pola, menilai validitas data, serta menghubungkan data dengan klaim. Hal tersebut sejalan dengan Wilson et al., (2024) yang menekankan keterampilan analitik sebagai komponen inti argumentasi ilmiah.

Skor ALi meningkat dari $2.00 \rightarrow 3.86$. Peningkatan yang kuat ini relevan dengan teori Michael Nussbaum, (2008) mengenai pentingnya diskursus kolaboratif dalam pengembangan argumentasi. Ketika mahasiswa semakin sering terlibat dalam seminar, diskusi kelompok, dan presentasi ilmiah, kemampuan argumentasi lisan mereka meningkat secara signifikan.

Hubungan Temuan dengan Teori dan Tren Penelitian Argumentasi Ilmiah

Hasil penelitian ini sangat konsisten dengan tren penelitian global mengenai argumentasi ilmiah. Misalnya, (Setyaningsih & Rahayu, 2023) dalam tinjauan bibliometrik menunjukkan bahwa sejak 2010–2020 terjadi peningkatan pesat penelitian tentang argumentasi, terutama terkait pembelajaran berbasis inkuiri, ADI (Argument Driven Inquiry), dan SSI (Socio-Scientific Issues). Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa argumentasi berkembang melalui proses pembelajaran aktif, kolaboratif, dan kontekstual.

Demikian pula, (Suliyanah et al., 2024) dalam analisis bibliometriknya menyimpulkan bahwa fokus terbesar penelitian argumentasi dalam satu dekade terakhir adalah integrasinya dalam pembelajaran sains melalui pendekatan autentik. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, yang menunjukkan bahwa mahasiswa tingkat lanjut yang lebih banyak terlibat dalam praktikum, penelitian mini, dan presentasi ilmiah memperoleh skor argumentasi yang jauh lebih tinggi.

Selain itu, penelitian global juga menekankan bahwa argumentasi adalah bagian integral dari literasi sains (Faize et al., 2017) (Zohar & Nemet, 2002) (Noroozi, 2023). Temuan penelitian ini sejalan dengan ketiga garis besar temuan tersebut. Mahasiswa yang semakin matang secara kognitif (semester tinggi) menunjukkan kemampuan literasi sains yang lebih baik, epistemic beliefs yang lebih ilmiah, dan kapasitas analisis yang lebih kuat.

Peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa Biologi ISDIK Kie Raha dapat diinterpretasikan dalam konteks kurikulum program studi dan karakteristik pembelajaran biologi. Mata kuliah seperti Metodologi Penelitian, Ekologi, Fisiologi, dan Mikrobiologi umumnya menuntut mahasiswa untuk melakukan eksperimen, menganalisis data, dan menyajikan laporan ilmiah yang semuanya mendorong kemampuan argumentasi. Selain itu, mahasiswa semester tinggi biasanya mengikuti kegiatan seperti: penelitian skripsi, presentasi seminar hasil penelitian, kerja praktik lapangan, serta diskusi terbimbing dengan dosen. Aktivitas tersebut memberikan ruang lebih luas untuk membangun kemampuan argumentasi, terutama dalam memberikan justifikasi ilmiah, menganalisis bukti empiris, dan mendiskusikan temuan secara kritis.

Hubungan Hasil Penelitian dengan Literasi Digital dan Pembelajaran Modern

Salah satu indikator yang meningkat signifikan adalah Literasi Digital (LD). Di era digital, literasi digital menjadi bagian integral argumentasi ilmiah, karena mahasiswa perlu: mencari sumber ilmiah kredibel, menganalisis informasi digital, memvalidasi data online, mengkomunikasikan argumen dalam media digital.

Penelitian Putri et al., (2024) menunjukkan bahwa integrasi teknologi (misalnya game edukasi atau pembelajaran digital) dapat meningkatkan literasi digital sekaligus argumentasi ilmiah. Hal ini relevan dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa LD meningkat cukup tajam pada semester tinggi.

Signifikansi Temuan dalam Perspektif Pendidikan Tinggi

Peningkatan signifikan kemampuan argumentasi dari semester 1 hingga semester 7 menunjukkan bahwa proses pendidikan tinggi efektif dalam mengembangkan keterampilan ilmiah mahasiswa. Namun, hal ini juga menyingkap dua implikasi penting: 1) Terjadi gap kemampuan yang cukup besar antara semester awal dan semester lanjut. Ini menunjukkan perlunya memperkuat pembelajaran argumentasi

sejak semester 1. 2) Kurikulum yang mendorong pengalaman autentik (mis. praktikum, proyek ilmiah, ADI, SSI) sangat berperan dalam membentuk argumentasi mahasiswa. Hal ini didukung oleh banyak penelitian (Azzahroh et al., 2024) (Egi Candra et al., 2024) (Limbong et al., 2025).

Perbandingan Temuan Penelitian dengan Studi Internasional

Peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa dari semester 1 hingga semester 7 dalam penelitian ini konsisten dengan temuan berbagai studi internasional yang menekankan bahwa argumentasi ilmiah adalah keterampilan yang berkembang melalui pengalaman belajar yang kompleks, keterlibatan dengan materi ilmiah, dan paparan terhadap kegiatan analitis. Osborne et al., (2004) menunjukkan bahwa argumentasi dalam konteks sains menuntut kemampuan berpikir tingkat tinggi karena siswa harus mengonstruksi klaim, mempertahankan klaim tersebut dengan bukti, serta mengevaluasi argumen alternatif. Hal ini secara jelas menggarisbawahi bahwa argumentasi bukan keterampilan spontan, melainkan kompetensi yang berkembang sesuai pengalaman dan tingkat pendidikan.

Osborne et al., (2004) juga menyatakan bahwa peningkatan kualitas argumentasi sangat bergantung pada aktivitas pembelajaran yang memberi kesempatan kepada mahasiswa untuk terlibat dalam dialog ilmiah, penyelidikan, dan pemberian berbasis data. Hal ini juga menekankan bahwa peningkatan kemampuan argumentasi logis seperti yang terlihat pada mahasiswa semester 5 dan 7 dalam penelitian ini mencerminkan internalisasi norma-norma argumentasi ilmiah melalui proses pembelajaran aktif dan diskusi ilmiah.

Secara lebih luas, penelitian Sandoval, (2005) menunjukkan bahwa pemahaman epistemologis mahasiswa tentang apa itu pengetahuan ilmiah dan bagaimana pengetahuan itu dibangun memengaruhi cara mereka melakukan inkuiri dan memberi alasan terhadap data memberikan dasar bahwa epistemic cognition merupakan prediktor penting dalam kualitas argumentasi ilmiah. Hal ini relevan dengan hasil penelitian ini, terutama karena mahasiswa semester tinggi menunjukkan skor tinggi pada indikator menganalisis data (MD) dan argumentasi logis (AL), yang merupakan komponen inti epistemic reasoning.

Kaitan Temuan dengan *Epistemic Beliefs* dan Perkembangan Kognitif

Perkembangan argumentasi ilmiah mahasiswa sangat erat kaitannya dengan perkembangan epistemic beliefs yakni keyakinan tentang hakikat pengetahuan dan cara memperolehnya. Hofer & Pintrich, (1997) mengemukakan bahwa epistemic beliefs berkembang seiring pendidikan formal dan pengalaman intelektual. Keyakinan bahwa pengetahuan ilmiah bersifat kompleks, tentatif, dan berbasis bukti menjadi landasan bagi kemampuan argumentasi ilmiah yang matang.

Dalam penelitian ini, mahasiswa semester awal cenderung memiliki skor yang rendah pada indikator seperti AL (argumentasi logis) dan MD (menganalisis data). Hal ini sejalan dengan karakteristik epistemic beliefs awal yang biasanya lebih absolutis di mana mahasiswa beranggapan bahwa jawaban ilmiah bersifat tunggal dan tidak perlu dibenarkan dengan argumen. Sebaliknya, mahasiswa semester 5 dan 7 memperoleh skor tinggi pada AL, MD, dan MK (menyusun kesimpulan), yang menunjukkan bahwa mereka telah mencapai tahap evaluatif, yaitu mampu memahami bahwa argumen ilmiah harus dibangun melalui analisis bukti, evaluasi sumber, dan justifikasi rasional. Temuan ini diperkuat oleh Chinn & Malhotra, (2002) yang menunjukkan bahwa inkuiri ilmiah

yang autentik mengharuskan mahasiswa menggunakan struktur berpikir epistemik yang kompleks.

Argumen mengenai perkembangan epistemik ini didukung pula oleh studi Noroozi, (2023), yang menunjukkan bahwa keyakinan epistemik prediktif terhadap performa argumentasi mahasiswa dalam konteks pembelajaran daring dan hybrid memastikan bahwa hubungan antara epistemic beliefs dan kualitas argumentasi merupakan temuan empiris yang kuat.

Pembelajaran Berbasis Argumentasi (ADI, SSI, dan Inquiry)

Hasil penelitian yang menunjukkan peningkatan argumentasi ilmiah pada semester-seminster lanjut berkaitan erat dengan model pembelajaran yang menempatkan mahasiswa sebagai pengambil keputusan dan pembangun pengetahuan melalui argumen. Pendekatan seperti Argument-Driven Inquiry (ADI), Socio-scientific Issues (SSI), dan berbagai varian pembelajaran inkuiri telah terbukti meningkatkan argumentasi ilmiah secara signifikan.

Norris et al., (2008) menegaskan bahwa model ADI memungkinkan siswa menghasilkan argumen berkualitas karena mereka terlibat dalam rangkaian aktivitas yang menuntut pembenaran dengan bukti dan evaluasi alternatif. Temuan ini mendukung pola peningkatan skor AL (argumentasi logis) dan ALi (argumentasi lisan) dalam penelitian ini, terutama pada semester 5 dan 7.

Selain ADI, pembelajaran berbasis isu sosio-saintifik (SSI) juga merupakan salah satu pendekatan yang terbukti meningkatkan kualitas argumentasi ilmiah. Sadler, (2004) mencatat bahwa siswa yang terlibat dalam pembelajaran berbasis isu kontemporer memiliki kemampuan argumentasi informal dan formal yang lebih baik dibanding pembelajaran konvensional. Pendekatan ini relevan dalam konteks mahasiswa Biologi ISDIK Kie Raha, khususnya ketika mereka membahas isu-isu seperti bioteknologi, ekologi, dan kesehatan masyarakat.

Zeidler & Nichols, (2009) juga menunjukkan bahwa keterlibatan siswa dalam SSI meningkatkan kemampuan berpikir reflektif, reasoning, dan pembentukan argumen etis. Temuan mereka juga mendukung peningkatan indikator BK (berpikir kritis) dan MK (menyusun kesimpulan) pada mahasiswa semester tinggi.

Selain itu, Osborne et al., (2004) menunjukkan bahwa praktik argumentatif dalam kelas dapat ditingkatkan melalui scaffolding seperti model Toulmin's Argumentation Pattern (TAP). Karena mahasiswa semester tinggi lebih banyak terlibat dalam penelitian ilmiah, seminar proposal, dan diskusi akademik, peningkatan skor argumentasi pada mereka merupakan bentuk realisasi model scaffolding argumentatif tersebut.

Literasi Sains dan HOTS sebagai Dasar Argumentasi Ilmiah

Kemampuan argumentasi ilmiah merupakan komponen penting literasi sains. Norris et al., (2008) menunjukkan bahwa literasi sains tidak hanya mencakup pemahaman konten, tetapi juga kemampuan memahami cara kerja ilmu pengetahuan, menginterpretasi data, dan mengevaluasi klaim berbasis bukti. Dengan meningkatnya skor MD, LD, dan BK dari semester 1 ke semester 7 dalam penelitian ini, dapat dikatakan bahwa literasi sains mahasiswa meningkat secara paralel dengan kemampuan argumentasinya.

Hanley et al., (2020) menegaskan bahwa mahasiswa di pendidikan tinggi membutuhkan pengalaman pembelajaran yang mendukung scientific reasoning dan

HOTS untuk meningkatkan literasi sains. Dengan demikian, temuan penelitian ini mendukung pandangan bahwa PBS (pembelajaran berbasis sains) yang terstruktur dan konsisten dapat meningkatkan kemampuan argumentatif mahasiswa.

Argumentasi Kolaboratif dan Komunikasi Ilmiah

Peningkatan signifikan pada indikator ALi (argumentasi lisan) di semester tinggi menunjukkan peran penting diskursus kolaboratif. Michael Nussbaum, (2008) secara eksplisit menunjukkan bahwa diskusi argumentatif mendorong siswa untuk mempertimbangkan sudut pandang alternatif, mengevaluasi klaim, dan merevisi argumentasi mereka. Berland & Reiser, (2009) juga menemukan bahwa argumentasi berkembang ketika mahasiswa dilibatkan dalam aktivitas yang mendorong mereka untuk mempertahankan klaim berdasarkan bukti dan merespons argumen lawan. Kondisi ini relevan dengan kegiatan akademik semester tinggi yang banyak melibatkan presentasi seminar, diskusi kelompok, dan evaluasi skripsi.

Peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah dalam penelitian ini tidak terjadi secara merata pada seluruh indikator. Meski semua indikator menunjukkan tren naik, beberapa komponen mengalami percepatan lebih tinggi. Peningkatan paling tajam terlihat pada Argumentasi Logis (AL), Menganalisis Data (MD), dan Argumentasi Lisan (ALi). Temuan ini menguatkan argumen Osborne et al., (2004) bahwa keberhasilan pembelajaran argumentatif terlihat ketika siswa mampu menghubungkan bukti dengan klaim melalui penalaran logis yang sahih. Kemampuan tersebut tidak hanya bergantung pada pemahaman konten, tetapi juga pada pengalaman dalam penalaran ilmiah yang kompleks. Oleh karena itu, mahasiswa semester 5 dan 7 yang lebih sering terlibat dalam analisis data, diskusi riset, dan interpretasi hasil eksperimen menunjukkan peningkatan MD yang lebih signifikan dibanding mahasiswa semester rendah.

Selain itu, indikator Argumentasi Lisan (ALi) mengalami pertumbuhan kuat karena mahasiswa semester tinggi cenderung lebih sering mengikuti seminar, presentasi ilmiah, dan diskusi kelas tingkat lanjut. Hal ini sejalan dengan temuan Michael Nussbaum, (2008), yang menjelaskan bahwa diskursus kolaboratif memperkuat kemampuan menyusun argumen yang responsif dan terstruktur. Diskusi ilmiah tidak hanya melibatkan penyampaian pendapat, tetapi juga kemampuan bertanya, menantang, dan mempertahankan klaim berdasarkan bukti.

Indikator Literasi Digital (LD) juga meningkat signifikan, meskipun tidak setajam MD atau AL. Norris et al., (2008) menekankan bahwa literasi sains modern menuntut kemampuan mengevaluasi dan menginterpretasi informasi berbasis media, sehingga peningkatan dalam LD mencerminkan kemampuan mahasiswa mengakses sumber ilmiah, membaca grafik atau tabel, dan memvalidasi sumber daring. Hal ini sangat relevan dengan kondisi perkuliahan masa kini, di mana pembelajaran digital dan akses informasi ilmiah secara daring semakin intensif. Ketika temuan penelitian dianalisis dalam kerangka Toulmin's Argumentation Pattern (TAP), terlihat bahwa mahasiswa semester rendah umumnya masih berada pada tahap klaim + data, tanpa menyertakan warrant atau justifikasi teoritis. Toulmin menjelaskan bahwa argumen yang matang memerlukan: 1) Claim: pernyataan atau kesimpulan, 2) Data/Evidence: fakta atau observasi yang mendukung, 3) Warrant: alasan logis yang menghubungkan data ke klaim, 4) Backing: dukungan lebih lanjut, 5) Qualifier: batasan argumen, 6) Rebuttal: kontra-argumen.

Berland & Reiser, (2009) menunjukkan bahwa mahasiswa baru umumnya hanya mampu menyampaikan klaim, sedangkan mahasiswa tingkat lanjut sudah mampu memberikan bukti serta alasan ilmiah. Hal ini sangat sesuai dengan pola mahasiswa semester 7 mencapai skor sangat tinggi pada AL (3.71) dan MD (3.86), menandakan bahwa mereka telah mampu memberikan reasoning yang relevan serta menghubungkan data empiris dengan teori. Norris et al., (2008) juga menekankan bahwa kualitas argumentasi sering kali tertinggal pada aspek warrant dan rebuttal. Dalam konteks hasil penelitian ini, meskipun tidak ada indikator eksplisit untuk rebuttal, peningkatan ALi dapat menjadi indikator tidak langsung bahwa mahasiswa semester tinggi mulai mampu berargumen secara interaktif dalam situasi debat atau diskusi konstruktif.

Keterkaitan dengan Pengembangan HOTS (Higher-Order Thinking Skills)

Indikator-indikator dalam penelitian ini secara umum merefleksikan dimensi HOTS, terutama menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta (Bloom revisi Anderson & Krathwohl). Hanley et al., (2020) menekankan bahwa literasi sains modern dan argumentasi ilmiah mencakup kemampuan: memecahkan masalah kompleks, menafsirkan bukti ilmiah, menyusun inferensi logis, mengevaluasi klaim, menghasilkan argumen alternatif. Peningkatan signifikan pada MD, AL, dan MK menunjukkan bahwa mahasiswa semester tinggi telah mencapai tingkat HOTS yang lebih matang. Sementara mahasiswa semester awal berada pada level LOTS (lower-order thinking skills), kemampuan mereka tetap berkembang secara bertahap melalui pengalaman belajar yang semakin kompleks.

Argumentasi Ilmiah sebagai Bagian dari Scientific Literacy

Literasi sains tidak hanya mencakup pengetahuan konten (content knowledge), tetapi juga pemahaman tentang proses ilmiah (epistemic knowledge) dan kemampuan berargumentasi. Dengan demikian, peningkatan skor mahasiswa semester tinggi pada LD, MD, dan BK menunjukkan bahwa mereka memiliki literasi sains yang lebih kuat Norris et al., (2008) menegaskan bahwa literasi sains pada tingkat universitas harus mencakup: kemampuan membaca dan menulis teks ilmiah, interpretasi informasi ilmiah, kemampuan mengkritisi argumen ilmiah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mahasiswa semester 7 hampir mencapai skor maksimal pada sebagian besar indikator ini, mengindikasikan bahwa proses pembelajaran biologi ISDIK Kie Raha telah berhasil mendukung pengembangan literasi sains.

Dalam konteks pendidikan tinggi Indonesia, khususnya program studi Biologi, terdapat beberapa faktor yang mendukung peningkatan argumentasi ilmiah. Mahasiswa semester 5 dan 7 lebih sering mengikuti praktikum kompleks memungkinkan mahasiswa berlatih menghubungkan teori dan data empiris, sejalan dengan argument Sandoval, (2005). Pada semester 6–7, mahasiswa melakukan seminar proposal dan penelitian lapangan. Aktivitas ini mengharuskan mahasiswa: menyusun kerangka berpikir logis, menyusun argumen berbasis teori, menginterpretasi data secara sistematis. Hal ini sangat sesuai dengan temuan Berland & Reiser, (2009). Selain itu, semakin tinggi semester, semakin sering mahasiswa melakukan presentasi ilmiah dan diskusi kritis. Dengan demikian, konteks pembelajaran di semester tinggi memperkuat perkembangan argumentasi ilmiah mahasiswa secara signifikan.

Berdasarkan temuan penelitian ini dan literatur internasional yang kredibel, terdapat beberapa implikasi penting. Sebagian besar studi menunjukkan pentingnya scaffolding argumentatif sejak semester awal Osborne et al., (2004) namun, hasil

penelitian ini menunjukkan bahwa mahasiswa semester 1 masih cukup jauh tertinggal. Oleh karena itu perkuliahan semester 1–2 perlu menyisipkan model argumentatif sederhana, mahasiswa awal perlu lebih banyak diberi tugas membaca artikel ilmiah dan menganalisis bukti, diskusi ilmiah perlu dihadirkan lebih intens.

Karena ADI dan SSI terbukti meningkatkan kemampuan disarankan memasukkan kegiatan ADI di laboratorium, menghadirkan isu-isu biologi kontekstual (virus, bioteknologi, ekologi), memberikan tugas berbasis debat ilmiah. Selain itu, karena LD meningkat signifikan dan literasi digital sangat penting di era AI, kurikulum sebaiknya mengintegrasikan penggunaan database ilmiah, melatih mahasiswa mengevaluasi kredibilitas sumber daring dan mengajarkan teknik penelusuran literatur ilmiah.

Walaupun penelitian ini memberikan gambaran komprehensif terkait kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa berdasarkan tingkatan semester, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dicatat untuk memberikan konteks interpretasi hasil: Penelitian ini dilakukan pada satu program studi di satu institusi, sehingga konteks pembelajaran, kultur akademik, dan pola interaksi dosen mahasiswa sangat mungkin memengaruhi perkembangan argumentasi ilmiah. Menurut Osborne et al., (2004), argumentasi ilmiah sangat sensitif terhadap budaya kelas, norma diskursus, dan kesempatan yang diberikan kepada mahasiswa untuk membangun argumen. Dengan demikian, generalisasi hasil penelitian ke institusi lain perlu dilakukan dengan hati-hati. Indikator argumentasi ilmiah dalam penelitian ini mencakup tujuh aspek (AL, MD, MK, LD, BK, ALi, dll.). Namun, indikator rebuttal atau kontra-argumen yang menurut Toulmin, (2003) merupakan elemen kritis argumen matang tidak terukur secara eksplisit. Dengan demikian, kemampuan argumentasi mahasiswa mungkin lebih kaya daripada yang tercermin dalam skor yang diperoleh.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian, beberapa rekomendasi penting dapat diajukan untuk memperkuat kajian argumentasi ilmiah di masa depan yaitu melakukan penelitian longitudinal dengan mengikuti perkembangan argumentasi mahasiswa dari semester 1 hingga 7 secara berkelanjutan untuk melihat perubahan yang lebih presisi. Menggunakan instrumen multimodal Termasuk wawancara, rekaman diskusi, analisis penalaran lisan, dan analisis tugas tertulis secara bersamaan. Mengukur elemen Toulmin secara lengkap Termasuk qualifier dan rebuttal yang belum dievaluasi dalam penelitian ini. Menganalisis pengaruh variabel epistemik Seperti beliefs tentang pengetahuan ilmiah, pengalaman riset, dan minat terhadap sains. Mengembangkan pelatihan argumentasi terstruktur Melibatkan modul TAP, ADI, dan SSI untuk meningkatkan konsistensi peningkatan kemampuan argumentasi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa Biologi ISDIK Kie Raha meningkat secara konsisten dari semester 1 hingga semester 7. Mahasiswa semester awal masih berada pada tahap dasar, terutama dalam indikator argumentasi logis dan analisis data. Pada semester 3, kemampuan mulai berkembang, tetapi belum stabil. Peningkatan signifikan terjadi pada semester 5 dan mencapai puncaknya pada semester 7, ditandai dengan penguasaan tinggi pada indikator menganalisis data, argumentasi logis, menyusun kesimpulan, serta argumentasi lisan.

Hasil ini juga menunjukkan bahwa pengalaman akademik, keterlibatan dalam praktikum, penelitian, dan diskusi ilmiah berperan besar dalam memperkuat kemampuan argumentasi ilmiah. Secara keseluruhan, proses pembelajaran di program

studi telah mendukung perkembangan argumentasi mahasiswa, namun perlu penguatan pembelajaran argumentatif sejak semester awal agar perkembangan keterampilan ini lebih merata dan berkelanjutan

DAFTAR PUSTAKA

- Arianti, P. E., Yuliana, I. F., & Fatayah, F. (2024). ANALISIS KEMAMPUAN ARGUMENTASI ILMIAH PADA MATERI REAKSI REDOKS DI MA AL-BALAGH BULUTIGO. *UNESA Journal of Chemical Education*, 13(1), 46–51. <https://doi.org/10.26740/ujced.v13n1.p46-51>
- Azzahroh, S. N. F., Septaria, K., & Wulandari, S. A. (2024). Pengaruh Model Pembelajaran Inkuiiri Bermuatan Nature Of Science (NOS) Terhadap Argumentasi Ilmiah Pada Topik Zat Aditif. *Jurnal Penelitian Sains Dan Pendidikan (JPSP)*, 4(1), 13–21. <https://doi.org/10.23971/jpsc.v4i1.7423>
- Baytelman, A., Iordanou, K., & Constantinou, C. P. (2020). Epistemic beliefs and prior knowledge as predictors of the construction of different types of arguments on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(8), 1199–1227. <https://doi.org/10.1002/tea.21627>
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26–55. <https://doi.org/10.1002/sce.20286>
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218. <https://doi.org/10.1002/sce.10001>
- Demircioglu, T., Karakus, M., & Ucar, S. (2023). Developing Students' Critical Thinking Skills and Argumentation Abilities Through Augmented Reality-Based Argumentation Activities in Science Classes. *Science & Education*, 32(4), 1165–1195. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00369-5>
- Dliya Yustika Mardani, Aa Juhanda, & Gina Nuranti. (2023). Analisis Argumentasi Ilmiah Toulmin dalam Media Animasi Audio Visual Anime Moyashimon pada Materi Bioteknologi. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 13(3), 579–586. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i3.1113>
- Egi Candra, Rahmadhani Mulvia, & Resti Warliani. (2024). Argumentasi Ilmiah Siswa pada Pembelajaran Fisika Berbasis Mobile Learning dengan Video Presentasi. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 14(4), 861–871. <https://doi.org/10.37630/jpm.v14i4.1895>
- Faize, F. A., Husain, W., & Nisar, F. (2017). A Critical Review of Scientific Argumentation in Science Education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1). <https://doi.org/10.12973/ejmste/80353>
- Ferretti, R. P., & Graham, S. (2019). Argumentative writing: theory, assessment, and instruction. *Reading and Writing*, 32(6), 1345–1357. <https://doi.org/10.1007/s11145-019-09950-x>
- Hanley, P., Wilson, H., Holligan, B., & Elliott, L. (2020). Thinking, doing, talking science: the effect on attainment and attitudes of a professional development programme to provide cognitively challenging primary science lessons. *International Journal of Science Education*, 42(15), 2554–2573. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1821931>



- Hardini, S. D., & Alberida, H. (2022). ANALISIS KEMAMPUAN ARGUMENTASI PESERTA DIDIK. *Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, 17(1).
- Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997). The Development of Epistemological Theories: Beliefs About Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning. *Review of Educational Research*, 67(1), 88–140. <https://doi.org/10.3102/00346543067001088>
- Limbong, S. A., Dasna, I. W., & Munzil, M. (2025). POLA BERPIKIR KRITIS DAN ARGUMENTASI ILMIAH BERDASARKAN GAYA KOGNITIF SISWA DALAM BELAJAR KIMIA. *Jurnal Visi Ilmu Pendidikan*, 16(3), 400–409. <https://doi.org/10.26418/jvip.v16i3.74883>
- Michael Nussbaum, E. (2008). Collaborative discourse, argumentation, and learning: Preface and literature review. *Contemporary Educational Psychology*, 33(3), 345–359. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2008.06.001>
- Noroозzi, O. (2023). The role of students' epistemic beliefs for their argumentation performance in higher education. *Innovations in Education and Teaching International*, 60(4), 501–512. <https://doi.org/10.1080/14703297.2022.2092188>
- Norris, S. P., Phillips, L. M., Smith, M. L., Guilbert, S. M., Stange, D. M., Baker, J. J., & Weber, A. C. (2008). Learning to read scientific text: Do elementary school commercial reading programs help? *Science Education*, 92(5), 765–798. <https://doi.org/10.1002/sce.20266>
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994–1020. <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Putri, N. O., Akmalia, H. A., & Tauhidah, D. (2024). PENGEMBANGAN GAME EDUKASI BERBASIS APLIKASI ANDROID UNTUK MELATIH LITERASI DIGITAL DAN KETERAMPILAN ARGUMENTASI ILMIAH SISWA KELAS X SMA PADA MATERI VIRUS DAN PERANANNYA. *Jurnal Edukasi Biologi*, 10(2), 147–165. <https://doi.org/10.21831/edubio.v10i2.22479>
- Rahmadanny, R., Nugroho, A. A., & Purwanto, A. (2024). Implementasi Model Argument Driven Inquiry dalam Pembelajaran Biologi untuk Meningkatkan Keterampilan Argumentasi Ilmiah pada Siswa Kelas X.1 SMA Negeri 1 Polokarto. *Konstruktivisme: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, 16(1), 124–134. <https://doi.org/10.35457/konstruk.v16i1.2936>
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513–536. <https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634–656. <https://doi.org/10.1002/sce.20065>
- Sari, W. K., & Nada, E. I. (2022). Analisis kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa pendidikan kimia pada pembelajaran daring. *Edu Sains: Jurnal Pendidikan Sains & Matematika*, 10(2), 185. <https://doi.org/10.23971/eds.v10i2.3173>
- Setiawan, A., & Jumadi, J. (2023). Analysis of the Implementation of Argument Driven Inquiry (ADI) in Students' Argumentation Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(6), 127–133. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i6.2725>
- Setyaningsih, A., & Rahayu, S. (2023). *Research trends on argumentation in science education from the year 2010 to 2020*. 030007. <https://doi.org/10.1063/5.0113111>

- Suliyanah, S., Amiruddin, M. Z., & Prahani, B. K. (2024). Scientific argumentations research for last 10 years: analysis bibliometric. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 13(4), 2126. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i4.26374>
- Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511840005>
- Wilson, C. D., Haudek, K. C., Osborne, J. F., Buck Bracey, Z. E., Cheuk, T., Donovan, B. M., Stuhlsatz, M. A. M., Santiago, M. M., & Zhai, X. (2024). Using automated analysis to assess middle school students' competence with scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(1), 38–69. <https://doi.org/10.1002/tea.21864>
- Wu, W. (2024). We know what attention is! *Trends in Cognitive Sciences*, 28(4), 304–318. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2023.11.007>
- Zeidler, D. L., & Nichols, B. H. (2009). Socioscientific issues: Theory and practice. *Journal of Elementary Science Education*, 21(2), 49–58. <https://doi.org/10.1007/BF03173684>
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35–62. <https://doi.org/10.1002/tea.10008>