

Efektivitas Integrasi *Socio-Scientific Issues* dalam *Problem-Based Learning* terhadap Keterampilan Argumentasi Ilmiah Siswa pada Materi Ekosistem

Kharisma Mega Noviana^{1*} Ria Yulia Gloria² Dewi Cahyani³

Universitas Islam Negeri Siber Syekh Nurjati Cirebon, Indonesia^{1,2,3}

Email: Kharisma.Mega07@gmail.com^{1}, riayuliagloria@uinssc.ac.id²,
dewicahyani@uinssc.ac.id³

Abstrak

Keterampilan argumentasi ilmiah merupakan salah satu kompetensi penting abad ke-21 yang perlu dikembangkan dalam pembelajaran biologi karena berperan dalam melatih kemampuan berpikir kritis, mengevaluasi bukti, dan mengambil keputusan secara rasional. Namun, kemampuan argumentasi ilmiah siswa masih tergolong rendah sehingga diperlukan pendekatan pembelajaran yang mampu mengaitkan konsep sains dengan permasalahan nyata. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas integrasi *Socio-Scientific Issues* (SSI) dalam model *Problem-Based Learning* (PBL) terhadap peningkatan keterampilan argumentasi ilmiah siswa pada materi ekosistem di SMAN 1 Jamblang. Penelitian menggunakan metode kuasi eksperimen dengan desain *Nonequivalent Control Group Design*. Sampel penelitian berjumlah 85 siswa yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*, terdiri atas 41 siswa pada kelas eksperimen dan 44 siswa pada kelas kontrol. Data dikumpulkan melalui tes keterampilan argumentasi (*pretest-posttest*), lembar observasi, dan angket respons siswa, kemudian dianalisis menggunakan skor *N-Gain* dan uji *Mann-Whitney U*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi SSI-PBL terlaksana dengan sangat baik. Kelas eksperimen memperoleh peningkatan keterampilan argumentasi lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol dengan skor *N-Gain* masing-masing sebesar 0,080 dan 0,035, serta terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok ($Z = -3,201$; $p = 0,001$). Respons siswa terhadap pembelajaran berada pada kategori sangat kuat dengan rata-rata 80,9%. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi SSI dalam model PBL efektif meningkatkan keterampilan argumentasi ilmiah serta dapat dijadikan alternatif strategi pembelajaran biologi yang kontekstual untuk mendukung pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan argumentasi berbasis bukti.

Kata Kunci: *keterampilan argumentasi ilmiah; socio-scientific issues (SSI); problem-based learning; ekosistem; pendidikan biologi*

Abstract

Scientific argumentation skills are a crucial 21st-century competency that needs to be fostered in biology education, as they play a vital role in developing critical thinking, evaluating evidence, and making rational decisions. However, students' scientific argumentation skills remain low, necessitating a teaching approach that links scientific concepts with real-world issues. This study aimed to analyze the effectiveness of integrating Socio-Scientific Issues (SSI) into the Problem-Based Learning (PBL) model to enhance students' scientific argumentation skills regarding ecosystem topics at SMAN 1 Jamblang. A quasi-experimental method with a Nonequivalent Control Group Design was employed. The study sample consisted of 85 students selected via purposive sampling: 41 in the experimental class and 44 in the control class. Data were collected through argumentation skill tests (pretest-posttest), observation sheets, and student response questionnaires, then analyzed using N-Gain scores and the Mann-Whitney U test. The results indicated that the SSI-PBL implementation was highly successful. The experimental class demonstrated a greater improvement in argumentation skills compared to the control class, with N-Gain scores of 0.080 and 0.035, respectively; a significant difference was observed between the two groups ($Z = -3.201$; $p = 0.001$). Student responses to the instruction fell into the "very strong" category, with an average of 80.9%. These findings demonstrate that integrating SSI into the PBL model effectively enhances scientific argumentation skills and serves as a viable

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menuntut peserta didik tidak hanya menguasai konsep, tetapi juga memiliki keterampilan berpikir tingkat tinggi, termasuk kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, komunikasi, dan kolaborasi. Salah satu keterampilan yang mendukung kemampuan tersebut adalah keterampilan argumentasi ilmiah, yaitu kemampuan menyampaikan pendapat berdasarkan data, bukti, dan penalaran yang logis. Namun, berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan argumentasi siswa Indonesia masih tergolong rendah. Hasil *Programme for International Student Assessment (PISA)* menunjukkan bahwa kemampuan literasi sains siswa Indonesia masih berada di bawah rata-rata negara anggota OECD, yang mengindikasikan rendahnya kemampuan siswa dalam menginterpretasikan bukti dan membangun argumen ilmiah (Pisa, 2023). Kesenjangan capaian tersebut tidak berdiri sendiri, sebab pemetaan bibliometrik terhadap riset pendidikan sains dua dekade terakhir memperlihatkan bahwa argumentasi ilmiah kini menjadi salah satu fokus utama kajian sekaligus kompetensi yang paling sulit ditumbuhkan melalui pembelajaran rutin (Noris et al., 2024).

Kondisi tersebut dipertegas oleh capaian terbaru pada PISA 2022. Skor literasi sains siswa Indonesia tercatat sebesar 383 poin, terpaut jauh di bawah rata-rata negara anggota OECD yang mencapai 485 poin, dan sebagian besar peserta didik belum mencapai Level 2 sebagai ambang kompetensi minimum (Pisa, 2023). Kondisi ini perlu dicermati secara khusus karena Level 2 dalam kerangka literasi sains PISA justru merupakan level pertama yang menuntut peserta didik mengidentifikasi bukti dan menyusun penjelasan atas suatu fenomena. Dengan demikian, rendahnya capaian tersebut tidak semata-mata mencerminkan lemahnya penguasaan konten, melainkan lemahnya kemampuan siswa dalam menautkan klaim dengan bukti serta penalaran yang mendasarinya. Temuan lintas negara ini sejalan dengan kondisi yang dilaporkan pada tataran kelas dan menunjukkan bahwa penguatan keterampilan argumentasi ilmiah merupakan kebutuhan yang mendesak dalam pembelajaran sains di Indonesia, bukan sekadar pelengkap capaian kognitif.

Permasalahan tersebut juga ditemukan pada pembelajaran Biologi di SMAN 1 Jamblang. Hasil studi pendahuluan menunjukkan bahwa siswa cenderung hanya menyampaikan klaim sederhana tanpa didukung data, alasan ilmiah, maupun sanggahan yang terstruktur. Kondisi ini diduga berkaitan dengan pembelajaran yang belum secara khusus melatih keterampilan argumentasi ilmiah serta belum memanfaatkan isu-isu kontekstual yang dekat dengan kehidupan peserta didik. Padahal, keterampilan argumentasi merupakan salah satu kompetensi penting dalam pembelajaran sains karena berperan dalam membantu siswa mengevaluasi informasi, mengambil keputusan, dan menyelesaikan masalah secara rasional. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang mampu menghubungkan konsep sains dengan permasalahan nyata sekaligus memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengembangkan argumentasi berbasis bukti.

Salah satu pendekatan yang berpotensi mengembangkan keterampilan argumentasi adalah *Socio-Scientific Issues* (SSI). Pendekatan ini memanfaatkan isu-isu sosial yang berkaitan dengan sains sebagai konteks pembelajaran sehingga mendorong peserta didik untuk berdiskusi, mengevaluasi berbagai sudut pandang, serta menyusun argumen berdasarkan bukti ilmiah (Sanwasi & Cahyani, 2019). Penerapan SSI dalam pembelajaran dapat dilakukan melalui berbagai tahapan, mulai dari diskusi tidak formal, debat terstruktur, hingga penyampaian argumen ilmiah (Genisa et al., 2020). Tinjauan sistematis terhadap publikasi SSI menunjukkan bahwa argumentasi merupakan salah satu luaran yang paling banyak dikaji dalam penelitian SSI, meskipun sebaran kajiannya masih terkonsentrasi pada topik dan jenjang tertentu (Miftakhul et al., 2024). Pada konteks Indonesia, Martini et al., (2021) memperlihatkan bahwa pengolahan isu sosiosaintifik melalui aktivitas berargumen yang terstruktur mampu memperbaiki mutu argumen pebelajar, terutama pada aspek pengaitan klaim dengan bukti.

Efektivitas SSI dapat ditingkatkan melalui integrasinya dengan model *Problem-Based Learning* (PBL) yang menempatkan masalah autentik sebagai titik awal pembelajaran. Model ini terbukti memberikan pengaruh besar terhadap keterampilan abad ke-21 dalam pembelajaran Biologi (*effect size* = 1,23), khususnya pada kemampuan berpikir kritis (*effect size* = 1,04) yang merupakan landasan penting dalam pengembangan keterampilan argumentasi ilmiah siswa (Rahma et al., 2025). Kombinasi SSI dan PBL memungkinkan siswa terlibat dalam proses identifikasi masalah, penyelidikan, penyusunan solusi, serta penyampaian argumen secara sistematis. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi SSI dalam PBL dapat meningkatkan keterlibatan belajar, kemampuan berpikir kritis, dan keterampilan metakognitif peserta didik. Lubis et al., (2022) juga melaporkan bahwa penerapan PBL yang diorientasikan pada isu sosiosaintifik menghasilkan capaian pengetahuan konseptual dan literasi lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan pembelajaran konvensional, sehingga memperkuat alasan pemaduan kedua pendekatan tersebut.

Meskipun sejumlah penelitian terdahulu melaporkan hasil yang menjanjikan, telaah kritis terhadap desain dan cakupannya memperlihatkan bahwa temuan tersebut belum sepenuhnya dapat dialihkan pada konteks penelitian ini. Aziz & Johari, (2023) memang melaporkan peningkatan kualitas penalaran siswa, termasuk kemunculan *counterargument* dan *rebuttal*, setelah pembelajaran berbasis argumentasi SSI; namun penelitian tersebut menggunakan desain penelitian tindakan dengan 16 partisipan tanpa kelompok pembandingan, sehingga besar pengaruh perlakuan sulit ditaksir secara inferensial. Nugroho et al., (2025) menerapkan desain kuasi eksperimen pada pendidikan biologi dan memperoleh peningkatan keterampilan argumentasi yang signifikan, tetapi kerangka pembelajaran yang digunakan adalah *socio-scientific real-world inquiry* sehingga sintaks pembelajarannya berbeda dari PBL.

Capkinoglu et al., (2020) menegaskan bahwa mutu argumentasi sangat dipengaruhi kedekatan konteks isu dengan pengalaman siswa, namun kajian tersebut dilakukan pada jenjang sekolah menengah pertama. Nurtamara & Widyastuti, (2023) telah memadukan SSI dengan PBL, tetapi luaran yang diukur berupa argumentasi berbasis bukti secara umum, bukan pemetaan berjenjang komponen argumen. Sementara itu, penelitian pada konteks Indonesia seperti Khairrunisa et al., (2025) lebih menyoroti literasi sains, keterlibatan belajar, dan keterampilan metakognitif, sedangkan Rahma et al., (2025) menyajikan bukti agregat mengenai pengaruh PBL terhadap keterampilan abad ke-21 tanpa memisahkan kontribusi spesifik pendekatan SSI.

Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji efektivitas pendekatan SSI dalam pembelajaran PBL terhadap keterampilan argumentasi ilmiah berdasarkan kerangka *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP) pada materi ekosistem masih terbatas, khususnya pada tingkat SMA. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas penerapan *Problem-Based Learning* berbasis *Socio-Scientific Issues* terhadap peningkatan keterampilan argumentasi siswa pada materi ekosistem di SMAN 1 Jamblang. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan penerapan SSI dalam pembelajaran PBL, menganalisis perbedaan peningkatan keterampilan argumentasi antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, serta mengidentifikasi respons siswa terhadap pembelajaran yang diterapkan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris bagi pengembangan pembelajaran Biologi yang berorientasi pada penguatan keterampilan argumentasi ilmiah siswa.

Berdasarkan telaah tersebut, dapat diidentifikasi tiga celah penelitian (*research gap*) yang belum terjawab. Pertama, integrasi SSI ke dalam keseluruhan sintaks PBL masih jarang diuji melalui desain kuasi eksperimen berkelompok pembandingan pada jenjang sekolah menengah atas. Kedua, sebagian besar penelitian melaporkan capaian argumentasi dalam bentuk skor total, sementara pemetaan mutu argumen berdasarkan komponen *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP), khususnya *rebuttal* sebagai komponen paling kompleks, masih jarang dilaporkan secara eksplisit. Ketiga, materi ekosistem masih jarang diposisikan sebagai konteks argumentasi, padahal materi ini memiliki muatan sosiosaintifik yang kuat.

Atas dasar itu, kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan tiga hal yang belum dilakukan secara simultan pada penelitian sebelumnya, yaitu: (a) isu sosiosaintifik diposisikan sebagai pemicu pada setiap tahap sintaks PBL dan bukan sekadar bahan bacaan pembuka; (b) capaian argumentasi dianalisis secara berjenjang menggunakan kerangka TAP sehingga dapat diketahui komponen argumen mana yang benar-benar berkembang; dan (c) analisis dilakukan pada materi ekosistem di tingkat sekolah menengah atas dengan menyertakan data keterlaksanaan pembelajaran dan respons siswa sebagai data pendukung.

Pemilihan materi ekosistem sebagai konteks penelitian didasarkan pada tiga pertimbangan ilmiah, bukan semata pertimbangan praktis. Pertama, ekosistem bersifat sistemik dan multivariabel karena melibatkan hubungan timbal balik antarkomponen biotik dan abiotik sehingga penjelasan atas suatu fenomena menuntut penalaran kausal berantai, yaitu jenis penalaran yang menjadi inti komponen *warrant* dan *backing* dalam TAP. Kedua, materi ini bersinggungan langsung dengan isu sosiosaintifik autentik seperti pencemaran lingkungan, alih fungsi lahan, kerusakan habitat, dan pelestarian keanekaragaman hayati, yang bersifat terbuka, kontroversial, dan tidak memiliki jawaban tunggal sehingga memberi ruang alami bagi munculnya *rebuttal*. Ketiga, isu ekosistem dapat diamati langsung oleh peserta didik di lingkungan tempat tinggalnya sehingga bukti empiris yang digunakan dalam argumentasi tidak sepenuhnya bergantung pada sumber sekunder. Dibandingkan materi biologi lain yang lebih bersifat struktural atau mikroskopis, ekosistem karenanya lebih memungkinkan siswa menghadirkan data lapangan sebagai penopang klaim. Pertimbangan tersebut sejalan dengan Kumar et al., (2024) yang menyimpulkan bahwa isu sosiosaintifik bermuatan lingkungan merupakan konteks paling produktif untuk melatih penalaran berbasis bukti karena menghadirkan permasalahan yang autentik, kompleks, dan sarat pertimbangan nilai.

Hubungan antara ketiga konstruk utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan dalam sebuah model konseptual. Isu sosiosaintifik berperan sebagai sumber konteks (*context provider*) yang menghadirkan permasalahan autentik, terbuka, dan sarat pertimbangan nilai; *Problem-Based Learning* berperan sebagai struktur prosedural (*process structure*) yang mengatur bagaimana permasalahan tersebut diorientasikan, diselidiki, dikembangkan solusinya, dipresentasikan, dan dievaluasi; sedangkan keterampilan argumentasi ilmiah berbasis TAP berperan sebagai luaran (*learning outcome*) yang termanifestasi dalam kelengkapan komponen *claim*, *data*, *warrant*, *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*.

Secara skematis, alur hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut: isu sosiosaintifik (konteks) menggerakkan sintaks PBL (proses), yang selanjutnya memfasilitasi terbentuknya komponen-komponen argumen berbasis TAP (luaran), dengan aktivitas belajar dan respons siswa berperan sebagai variabel penyerta yang menjembatani proses dan luaran tersebut. Model ini menempatkan SSI dan PBL sebagai dua unsur yang saling melengkapi: SSI menyediakan alasan bagi siswa untuk berargumen, sedangkan PBL menyediakan ruang prosedural untuk melakukannya secara sistematis.

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memperkaya kajian mengenai mekanisme pembentukan argumentasi ilmiah dengan menunjukkan komponen TAP mana yang paling responsif dan mana yang paling resisten terhadap intervensi pembelajaran kontekstual berdurasi pendek. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan guru Biologi sebagai rujukan dalam merancang perangkat pembelajaran berbasis isu sosiosaintifik lokal, serta oleh pengembang kurikulum sebagai pertimbangan dalam menempatkan latihan argumentasi sebagai kegiatan yang eksplisit dan berkelanjutan, bukan sebagai dampak pengiring yang diasumsikan muncul dengan sendirinya.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kuasi eksperimen (*quasi-experimental*) dan desain *Nonequivalent Control Group Design*. Penelitian dilaksanakan di SMAN 1 Jamblang pada tahun ajaran 2025/2026 dengan melibatkan dua kelas X yang dipilih berdasarkan kesetaraan karakteristik akademik dan rekomendasi guru mata pelajaran. Kelas X-A ditetapkan sebagai kelas eksperimen yang memperoleh pembelajaran *Problem-Based Learning* (PBL) berbasis *Socio-Scientific Issues* (SSI), sedangkan kelas X-B sebagai kelas kontrol yang memperoleh pembelajaran PBL tanpa pendekatan SSI. Objek penelitian adalah keterampilan argumentasi ilmiah siswa pada materi ekosistem yang dianalisis berdasarkan komponen *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP), meliputi *claim*, *data*, *warrant*, *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*.

Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas X SMAN 1 Jamblang tahun ajaran 2025/2026 yang terdistribusi dalam beberapa rombongan belajar. Penentuan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, yaitu pemilihan kelas berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya, meliputi: (a) kesetaraan rata-rata capaian belajar Biologi sebelum perlakuan; (b) kesamaan alokasi jam pelajaran dan guru pengampu sehingga variabel guru dapat dikendalikan; dan (c) rekomendasi guru mata pelajaran mengenai kesebandingan karakteristik akademik kedua kelas. Teknik ini dipilih karena penelitian dilaksanakan pada kelas yang telah terbentuk (*intact classes*) sehingga pengacakan individu tidak dimungkinkan, yang sekaligus menjadi alasan digunakannya desain kuasi eksperimen. Sampel yang diperoleh

berjumlah 85 siswa, terdiri atas 41 siswa kelas X-A sebagai kelas eksperimen dan 44 siswa kelas X-B sebagai kelas kontrol. Kesetaraan kemampuan awal kedua kelompok ditelaah melalui perbandingan skor *pretest* keterampilan argumentasi sebelum perlakuan diberikan.

Pengumpulan data dilakukan melalui tes keterampilan argumentasi, lembar observasi, dan angket respons siswa. Tes diberikan sebelum dan sesudah pembelajaran (*pretest-posttest*) untuk mengukur perubahan keterampilan argumentasi siswa. Lembar observasi digunakan untuk menilai keterlaksanaan pembelajaran dan aktivitas siswa selama proses pembelajaran berlangsung, sedangkan angket digunakan untuk memperoleh data mengenai respons siswa terhadap penerapan pembelajaran PBL berbasis SSI. Sebelum digunakan, instrumen tes terlebih dahulu melalui tahap validasi dan uji coba untuk memastikan kelayakannya sebagai alat pengumpul data.

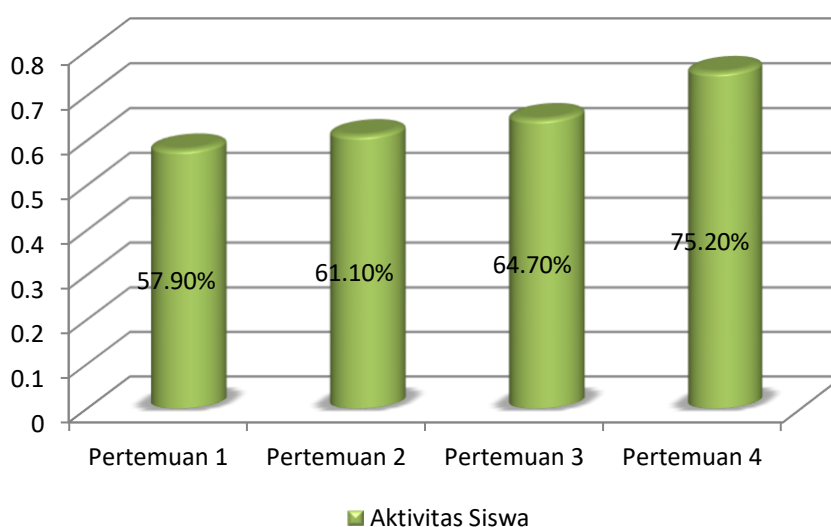
Instrumen tes keterampilan argumentasi dikembangkan dalam bentuk soal uraian terbuka yang mengacu pada komponen TAP dan divalidasi melalui dua tahap. Tahap pertama adalah validasi isi (*content validity*) oleh dosen ahli pendidikan biologi dan guru mata pelajaran, yang menilai kesesuaian butir dengan indikator argumentasi, ketepatan konsep ekosistem, serta keterbacaan bahasa. Tahap kedua adalah uji coba empiris pada kelas di luar sampel yang telah menempuh materi ekosistem. Validitas butir dianalisis menggunakan korelasi *product moment*, dengan butir dinyatakan valid apabila r hitung lebih besar daripada r tabel pada taraf signifikansi 5%. Reliabilitas instrumen tes uraian dihitung menggunakan rumus *Cronbach's Alpha*, sedangkan lembar observasi dan angket respons siswa divalidasi melalui validasi isi oleh ahli dan reliabilitasnya ditinjau dari konsistensi internal butir.

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan inferensial. Peningkatan keterampilan argumentasi siswa dihitung menggunakan skor N-Gain, sedangkan perbedaan peningkatan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dianalisis menggunakan uji *Mann-Whitney U*. Data hasil observasi dan angket dianalisis dalam bentuk persentase untuk menggambarkan keterlaksanaan pembelajaran serta respons siswa terhadap penerapan pendekatan *Socio-Scientific Issues* dalam model *Problem-Based Learning*. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menentukan efektivitas pembelajaran PBL berbasis SSI dalam meningkatkan keterampilan argumentasi siswa pada materi ekosistem.

Prosedur penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap yang tersusun sistematis. Tahap persiapan meliputi studi pendahuluan, penyusunan perangkat pembelajaran dan instrumen, validasi ahli, uji coba instrumen, serta pengurusan perizinan penelitian. Tahap pelaksanaan diawali pemberian *pretest* pada kedua kelas, dilanjutkan dengan perlakuan selama empat kali pertemuan, yaitu pembelajaran PBL berbasis SSI pada kelas eksperimen dan pembelajaran PBL tanpa pendekatan SSI pada kelas kontrol, dengan pengamatan keterlaksanaan pembelajaran dan aktivitas siswa pada setiap pertemuan; tahap ini diakhiri dengan pemberian *posttest* dan penyebaran angket respons pada kelas eksperimen. Tahap akhir meliputi penskoran, analisis data, serta penarikan simpulan. Kedua kelas memperoleh alokasi waktu, cakupan materi, dan guru pengampu yang sama sehingga perbedaan perlakuan terbatas pada ada atau tidaknya pengintegrasian isu sosiosaintifik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi model pembelajaran *Problem-Based Learning* (PBL) yang terintegrasi dengan pendekatan *Socio-Scientific Issues* (SSI) diamati melalui aktivitas belajar siswa pada setiap pertemuan. Aktivitas siswa menjadi salah satu indikator penting untuk menilai keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran. Persentase aktivitas belajar siswa kelas eksperimen selama empat kali pertemuan disajikan pada Gambar 1. Grafik tersebut menunjukkan perubahan tingkat aktivitas siswa selama penerapan SSI-PBL yang dapat digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi efektivitas proses pembelajaran yang berlangsung.



Gambar 1. Persentase Aktivitas Belajar Siswa Kelas Eksperimen Per Pertemuan

Penerapan pendekatan *Socio-Scientific Issues* (SSI) dalam model *Problem-Based Learning* (PBL) pada materi ekosistem menunjukkan keterlaksanaan yang sangat baik. Aktivitas belajar siswa mengalami peningkatan selama proses pembelajaran, dari 57,9% pada pertemuan awal menjadi 75,2% pada pertemuan akhir. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa siswa semakin aktif dalam mengikuti pembelajaran, terlibat dalam diskusi kelompok, serta berpartisipasi dalam proses pemecahan masalah yang disajikan melalui isu-isu lingkungan yang dekat dengan kehidupan mereka.

Meningkatnya aktivitas belajar siswa menunjukkan bahwa integrasi SSI dalam PBL mampu menciptakan lingkungan belajar yang lebih partisipatif dibandingkan pembelajaran konvensional. Isu-isu sosiosaintifik yang digunakan sebagai pemicu pembelajaran mendorong siswa untuk menghubungkan konsep ekosistem dengan permasalahan nyata, seperti pencemaran lingkungan, kerusakan habitat, dan pelestarian keanekaragaman hayati. Kondisi tersebut membuat siswa tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga terlibat dalam proses berpikir, berdiskusi, dan mengambil keputusan berdasarkan bukti ilmiah. Pola penguatan keterlibatan semacam ini juga dilaporkan Högström et al., (2025), yang menyimpulkan bahwa partisipasi siswa dalam pembelajaran SSI cenderung meningkat ketika isu diposisikan sebagai poros seluruh kegiatan kelas, bukan sekadar pengantar sebelum penyampaian konsep.

Temuan ini sejalan dengan teori konstruktivisme sosial Vygotsky yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi sosial. Diskusi kelompok dan pertukaran gagasan selama pembelajaran SSI-PBL memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengonstruksi pemahaman secara kolaboratif. Hasil penelitian ini juga mendukung temuan Khairrunisa et al., (2025) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis SSI efektif meningkatkan keterlibatan siswa dan mendorong partisipasi aktif dalam proses pembelajaran. Peningkatan aktivitas belajar siswa tersebut sejalan dengan hasil pengukuran keterampilan argumentasi ilmiah melalui *pretest* dan *posttest*. Perbandingan nilai N-Gain dan uji *Mann–Whitney U* antara kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ranks Uji Man-Whitney U (N-Gain)

Variabel	Kelas	N	Mean Rank	Sum of Ranks
N_Gain	Eksperimen	41	51,85	2126,00
	Kontrol	44	34,75	1529,00
	Total	85	—	—

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran SSI-PBL lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan argumentasi siswa dibandingkan pembelajaran tanpa pendekatan SSI. Kelas eksperimen memperoleh nilai N-Gain sebesar 8,03%, sedangkan kelas kontrol memperoleh nilai N-Gain sebesar 3,49%, dengan selisih peningkatan sebesar 4,54%. Selain itu, hasil uji *Mann–Whitney U* menunjukkan nilai signifikansi 0,001 ($p < 0,05$), yang menandakan adanya perbedaan peningkatan keterampilan argumentasi yang signifikan antara kedua kelompok. Besaran peningkatan yang tidak terlalu tinggi tersebut masih berada pada rentang yang lazim dijumpai, sebagaimana meta-analisis Çalik & Wiyarsi, (2025) yang menemukan bahwa efek intervensi berbasis SSI terhadap luaran literasi sains sangat bervariasi dan banyak ditentukan oleh durasi serta rancangan intervensi yang digunakan.

Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan isu-isu sosiosaintifik dalam pembelajaran memberikan ruang yang lebih luas bagi siswa untuk mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah. Dalam pembelajaran SSI-PBL, siswa tidak hanya diminta memahami konsep ekosistem, tetapi juga menganalisis suatu isu, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, dan mempertahankan pendapat berdasarkan data serta bukti yang relevan. Proses tersebut secara langsung melatih siswa untuk menyusun argumen yang lebih terstruktur dan logis.

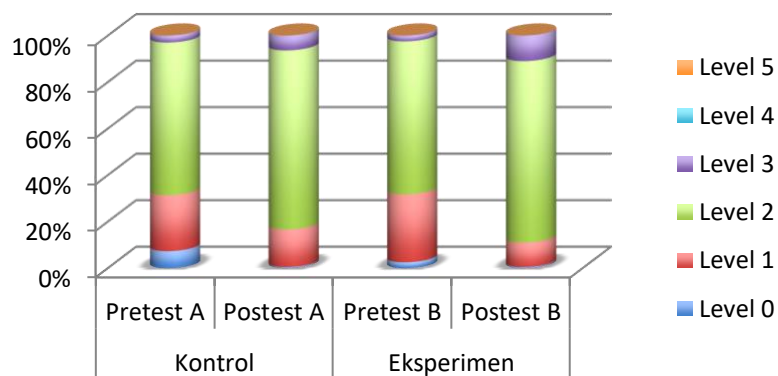
Berdasarkan analisis argumentasi menggunakan kerangka *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP), peningkatan keterampilan argumentasi terjadi karena siswa memperoleh kesempatan untuk mengembangkan komponen-komponen argumentasi secara lebih lengkap, mulai dari claim, data, warrant, hingga rebuttal. Selama pembelajaran, siswa dihadapkan pada permasalahan yang bersifat kontroversial dan terbuka sehingga mereka terdorong untuk mempertimbangkan berbagai sudut pandang sebelum mengambil keputusan. Kondisi ini berbeda dengan pembelajaran konvensional yang cenderung berfokus pada penguasaan konsep dan penyampaian informasi oleh guru.

Berdasarkan Tabel 1, kelas eksperimen memperoleh mean rank sebesar 51,85, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang hanya 34,75. Hasil uji *Mann–Whitney U* menunjukkan nilai signifikansi 0,001 ($p < 0,05$), yang menandakan adanya perbedaan peningkatan

keterampilan argumentasi yang signifikan antara kedua kelompok, dengan kelas eksperimen yang memperoleh pembelajaran SSI-PBL menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Guna memberikan gambaran komparatif mengenai pemetaan kualitas argumen yang mampu dibangun siswa berdasarkan kerangka kerja TAP, distribusi persentase level argumentasi pada kedua kelas dipaparkan dalam Gambar 2.

Guna melengkapi hasil uji signifikansi, besar pengaruh perlakuan dihitung menggunakan rumus $r = |Z| / \sqrt{N}$. Berdasarkan nilai $Z = -3,201$ dan $N = 85$, diperoleh $r = 0,35$ yang menurut kriteria Cohen termasuk kategori sedang (*medium effect*). Adapun nilai statistik uji yang bersesuaian dengan data pada Tabel 1 adalah $U = 539,00$ dan $W = 1.529,00$. Perhitungan ini penting karena menunjukkan bahwa perbedaan antara kedua kelompok tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga memiliki kebermaknaan praktis pada taraf sedang. Dengan demikian, perbedaan yang teramati tidak dapat dijelaskan semata-mata sebagai konsekuensi ukuran sampel, melainkan mencerminkan pengaruh nyata perlakuan terhadap peningkatan keterampilan argumentasi siswa. Meskipun perbedaan antarkelompok signifikan, perlu digarisbawahi bahwa nilai N-Gain kedua kelas tergolong rendah, yaitu setara dengan 0,080 pada kelas eksperimen dan 0,035 pada kelas kontrol apabila dinyatakan dalam rentang 0–1. Sekurang-kurangnya empat faktor dapat menjelaskan kondisi tersebut.

Pertama, durasi intervensi yang hanya berlangsung empat kali pertemuan kemungkinan belum memadai untuk mengubah pola berargumentasi yang telah lama terbentuk, mengingat keterampilan argumentasi bersifat kumulatif dan menuntut pembiasaan berulang. Kedua, penskoran berbasis TAP bersifat ketat karena skor maksimum hanya dapat dicapai apabila siswa menghadirkan seluruh komponen argumen secara lengkap, sehingga peningkatan pada komponen awal seperti *claim* dan *data* tidak serta-merta terkonversi menjadi kenaikan skor total yang besar. Ketiga, siswa belum terbiasa dengan format soal argumentatif terbuka sehingga sebagian jawaban masih berhenti pada penyampaian klaim tanpa penjabaran penalaran. Keempat, keterbatasan waktu pada setiap pertemuan menyebabkan porsi latihan penyusunan *rebuttal* lebih kecil dibandingkan porsi penyusunan klaim dan alasan. Dengan demikian, angka N-Gain yang rendah lebih tepat dibaca sebagai indikator tahap awal perkembangan argumentasi, bukan sebagai indikasi ketidakefektifan perlakuan, terlebih karena besar pengaruh antarkelompok berada pada kategori sedang.



Gambar 2. Distribusi Level Argumentasi Keseluruhan (%) Kelas A (Kontrol) dan Kelas B (Eksperimen)

Berdasarkan Gambar 2, kelas eksperimen menunjukkan proporsi siswa pada Level 3 yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, sementara kedua kelas masih didominasi oleh Level 2. Meskipun terjadi peningkatan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar siswa masih berada pada Level 2 argumentasi. Level ini ditandai oleh kemampuan menyampaikan klaim yang telah didukung data atau alasan, tetapi belum disertai rebuttal yang kuat. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa siswa telah mulai mampu membangun hubungan logis antara pendapat dan bukti, namun belum terbiasa mengevaluasi atau menyanggah argumen alternatif secara mendalam. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh keterbatasan waktu pembelajaran, pengalaman siswa yang masih terbatas dalam kegiatan argumentatif, serta fokus pembelajaran yang lebih banyak menekankan penyusunan klaim dan alasan dibandingkan pengembangan rebuttal.

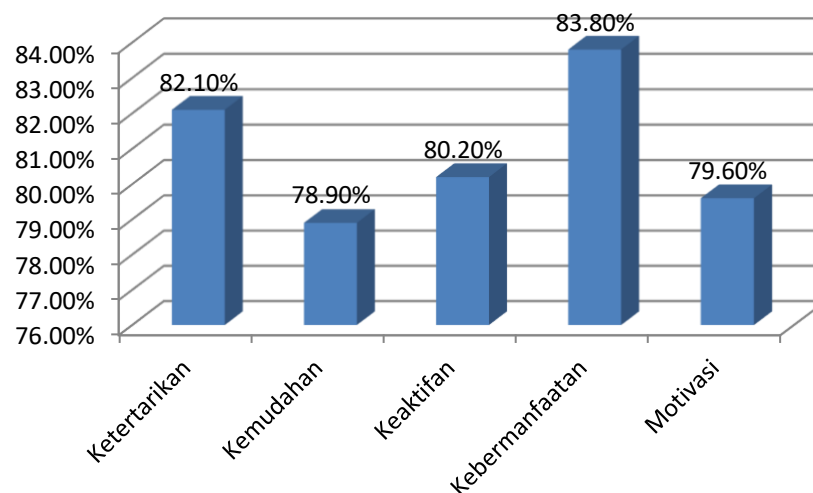
Dominannya Level 2 tidak dapat sepenuhnya dipandang sebagai kelemahan siswa, melainkan menunjukkan bahwa proses pengembangan argumentasi ilmiah masih memerlukan latihan yang berkelanjutan. Erduran et al., (2004) dalam Aptiyani et al., (2023) menjelaskan bahwa rebuttal merupakan komponen argumentasi yang paling kompleks karena menuntut kemampuan berpikir kritis tingkat tinggi, evaluasi bukti, serta pertimbangan terhadap perspektif lain. Oleh karena itu, kemunculan Level 3 pada sebagian siswa setelah pembelajaran dapat dipandang sebagai indikator bahwa SSI-PBL mulai mampu mendorong perkembangan kualitas argumentasi ke arah yang lebih kompleks. Dawson, (2024) menegaskan hal serupa dengan menunjukkan bahwa perbaikan mutu argumen berbasis struktur Toulmin pada pembelajaran SSI sangat bergantung pada dukungan dan strategi penopang yang diberikan guru selama proses berargumentasi, sehingga kemunculan *rebuttal* sulit diharapkan tumbuh secara spontan.

Pola temuan ini konsisten dengan sejumlah penelitian internasional terkini, sekaligus memperlihatkan perbedaan yang perlu dicermati. Aziz & Johari, (2023) melaporkan bahwa intervensi berbasis argumentasi SSI mampu meningkatkan mutu penalaran siswa sekolah menengah, termasuk kemunculan *counterargument* dan *rebuttal*; kesesuaian arah temuan tersebut dengan penelitian ini memperkuat dugaan bahwa konteks sosiosaintifik memang berfungsi sebagai pemicu argumentasi. Capkinoglu et al., (2020) menemukan bahwa mutu argumentasi meningkat ketika isu yang digunakan bersifat lokal dan dekat dengan pengalaman siswa, yang sejalan dengan penggunaan isu lingkungan sekitar dalam penelitian ini.

Sementara itu, Smit et al., (2026) melaporkan bahwa pendekatan SSI meningkatkan minat dan efikasi diri siswa terhadap sains, tetapi tidak selalu disertai peningkatan capaian pengetahuan yang setara; pola serupa tampak pada penelitian ini, yakni respons afektif siswa tergolong sangat kuat (80,9%) sementara peningkatan kognitif yang terukur relatif terbatas. Jimenez et al., (2024) menegaskan bahwa kesulitan utama peserta didik justru terletak pada penggunaan bukti lintas disiplin ketika berargumentasi mengenai konsekuensi ekologis dan sosial suatu kebijakan, hal yang selaras dengan dominasi Level 2 pada penelitian ini. Adapun Nugroho et al., (2025) memperoleh peningkatan yang lebih besar melalui *socio-scientific real-world inquiry*; perbedaan magnitudo ini dapat dipahami karena penelitian tersebut menekankan penyelidikan lapangan yang lebih intensif, sehingga menyiratkan bahwa penguatan tahap penyelidikan berpotensi meningkatkan efektivitas SSI-PBL pada penelitian selanjutnya.

Temuan penelitian ini memperkuat pandangan Karisan et al. (2024) bahwa pembelajaran berbasis SSI dapat meningkatkan kemampuan argumentasi melalui diskusi terhadap isu-isu

ilmiah yang memiliki dimensi sosial dan etika. Pola sebaran persepsi dan tingkat ketertarikan afektif siswa terhadap keseluruhan sintak pembelajaran berbasis isu sosiosaintifik ini divisualisasikan pada Gambar 3. Secara teoretis, temuan penelitian ini memberikan dua implikasi. Pertama, hasil penelitian mendukung tesis bahwa mutu argumen tidak berkembang secara serentak pada seluruh komponennya: komponen *claim*, *data*, dan *warrant* relatif responsif terhadap intervensi kontekstual berdurasi pendek, sedangkan *rebuttal* menuntut pembelajaran eksplisit dan berkelanjutan. Kedua, temuan ini menguatkan posisi teoretis bahwa konteks sosiosaintifik berfungsi sebagai prasyarat motivasional bagi argumentasi, tetapi tidak dengan sendirinya menjadi prasyarat struktural. Artinya, isu yang relevan mendorong siswa untuk mau berpendapat, namun kemampuan menyusun pendapat secara terstruktur tetap memerlukan pemodelan (*scaffolding*) yang dirancang secara sengaja. Konsekuensinya, kerangka TAP sebaiknya diposisikan bukan hanya sebagai alat penilaian, melainkan juga sebagai kerangka perancangan pembelajaran.



Gambar 3. Distribusi Kategori Respon Siswa Terhadap Pembelajaran SSI-PBL (Skala Likert 1-4, n=41)

Hasil angket menunjukkan bahwa siswa memberikan respon yang sangat positif terhadap penerapan SSI-PBL dengan rata-rata persentase sebesar 80,9% yang termasuk dalam kategori sangat kuat. Siswa menilai pembelajaran lebih menarik, bermanfaat, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari karena materi ekosistem dipelajari melalui isu-isu nyata yang mereka temui di lingkungan sekitar. Respon positif tersebut menunjukkan bahwa pendekatan SSI mampu meningkatkan motivasi belajar siswa. Penggunaan isu lingkungan yang kontekstual membuat siswa lebih mudah memahami keterkaitan antara konsep biologi dengan permasalahan sosial yang terjadi di masyarakat. Selain itu, diskusi kelompok dan kegiatan argumentasi memberikan kesempatan kepada siswa untuk menyampaikan pendapat secara aktif, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dibandingkan pembelajaran yang hanya berorientasi pada penyampaian materi. Mulyono et al., (2023) menjelaskan bahwa isu sosiosaintifik bermuatan lingkungan memiliki daya dukung afektif yang kuat karena permasalahan yang diangkat dapat diverifikasi langsung oleh siswa dalam pengalaman kesehariannya.

Berdasarkan perspektif pendidikan sains, respon positif siswa merupakan indikator penting keberhasilan pembelajaran karena menunjukkan bahwa proses belajar tidak hanya meningkatkan hasil kognitif, tetapi juga membangun keterlibatan emosional dan sosial siswa. Pembelajaran yang dianggap relevan dengan kehidupan nyata cenderung menghasilkan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi empiris terhadap pengembangan pembelajaran biologi berbasis isu-isu sosiosaintifik. Temuan penelitian menunjukkan bahwa integrasi SSI dalam model PBL tidak hanya meningkatkan aktivitas belajar siswa, tetapi juga efektif dalam mengembangkan keterampilan argumentasi ilmiah yang menjadi salah satu kompetensi penting abad ke-21. Keunggulan pendekatan ini terletak pada kemampuannya menghubungkan konsep sains dengan konteks kehidupan nyata sehingga siswa terdorong untuk berpikir kritis, mengevaluasi informasi, serta mengambil keputusan berdasarkan bukti ilmiah.

Secara akademik, penelitian ini memperkuat kajian mengenai efektivitas pembelajaran SSI-PBL dalam meningkatkan kualitas argumentasi ilmiah berdasarkan kerangka *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP). Selain itu, penelitian ini memberikan bukti bahwa pembelajaran argumentatif perlu dirancang secara eksplisit dan berkelanjutan agar siswa tidak hanya mampu menyusun klaim dan alasan, tetapi juga mengembangkan rebuttal sebagai indikator argumentasi ilmiah tingkat tinggi. Dengan demikian, SSI-PBL dapat menjadi salah satu alternatif strategi pembelajaran yang relevan untuk mendukung pengembangan literasi sains dan keterampilan argumentasi siswa pada materi ekosistem maupun materi biologi lainnya. Arah pengembangan tersebut selaras dengan pemetaan Arifin et al., (2025) yang menempatkan argumentasi dan keberlanjutan sebagai dua fokus utama riset SSI mutakhir, sekaligus menyoroti masih terbatasnya kajian yang menautkan sintaks pembelajaran tertentu dengan komponen argumen secara berjenjang.

Sebagai bagian dari pembahasan, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam menafsirkan hasil. Pertama, desain kuasi eksperimen tanpa pengacakan individu menyebabkan kesetaraan kelompok hanya dapat didekati melalui kriteria pemilihan kelas, sehingga kemungkinan pengaruh variabel luar tidak dapat sepenuhnya dikendalikan. Kedua, durasi perlakuan yang terbatas pada empat pertemuan membatasi kesimpulan mengenai perkembangan argumentasi dalam jangka panjang. Ketiga, keterampilan argumentasi hanya diukur melalui tes tertulis sehingga kemampuan argumentasi lisan yang muncul dalam diskusi kelompok tidak terekam secara kuantitatif. Keempat, penelitian dilaksanakan pada satu sekolah dengan konteks materi tunggal sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan secara berhati-hati. Kelima, pengukuran dilakukan segera setelah perlakuan berakhir tanpa uji retensi, sehingga daya tahan capaian belum dapat dipastikan.

KESIMPULAN

Penerapan Socio-Scientific Issues (SSI) dalam model Problem-Based Learning (PBL) terbukti efektif meningkatkan keterampilan argumentasi ilmiah siswa pada materi ekosistem di SMAN 1 Jamblang. Pembelajaran terlaksana dengan sangat baik, menghasilkan peningkatan keterampilan argumentasi yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, serta memperoleh respons siswa yang sangat positif. Temuan ini memperkuat bukti empiris bahwa integrasi SSI dalam PBL dapat mendukung pengembangan argumentasi ilmiah berbasis Toulmin's Argumentation Pattern (TAP).

Secara praktis, pendekatan ini dapat dijadikan alternatif strategi pembelajaran biologi untuk melatih berpikir kritis dan argumentasi berbasis bukti. Penelitian ini masih terbatas pada satu sekolah, materi ekosistem, dan pengukuran argumentasi tertulis. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan sampel yang lebih luas, menerapkan pada materi biologi lain, serta mengkaji argumentasi lisan dan keterampilan abad ke-21 lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z., Sukarmin, S. (2025). Trends And Research Frontiers In Socioscientific Issues For Sustainable Science Education: A Systematic And Bibliometric Analysis From 2014-2024. *Ericz Arifin, S Sukarmin, S Saputrojournal Of Pedagogical Research*, 2025•Eric, 9(1), 2025. <https://doi.org/10.33902/Jpr.202530575>
- Aziz, A. A., & Johari, M. (2023). The Effect Of Argumentation About Socio-Scientific Issues On Secondary Students' Reasoning Pattern And Quality. *Springeraa Aziz, M Johari*research In Science Education, 2023•Springer, 53(4), 771–789. <https://doi.org/10.1007/S11165-023-10099-5>
- Çalik, M., & Wiyarsi, A. (2025). The Effect Of Socio-Scientific Issues-Based Intervention Studies On Scientific Literacy: A Meta-Analysis Study. *International Journal Of Science Education*, 47(3), 399–421. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2325382>
- Capkinoglu, E., Yilmaz, S., & Leblebicioglu, G. (2020). Quality Of Argumentation By Seventh-Graders In Local Socioscientific Issues. *Journal Of Research In Science Teaching*, 57(6), 827–855. <https://doi.org/10.1002/Tea.21609>
- Dawson, V. (2024). Teachers' Support In Developing Year 7 Students' Argumentation Skills About Water-Based Socioscientific Issues. *International Journal Of Science Education*, 46(3), 222–239. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2226334>
- Genisa, M., Subali, B., Agussalim, A. (2020). Socio-Scientific Issues Implementation As Science Learning Material. *Ericmu Genisa, B Subali, A Agussalim, H Habibi*international Journal Of Evaluation And Research In Education, 2020•Eric, 9(2), 311–317. <https://doi.org/10.11591/Ijere.V9i2.20530>
- Högström, P., Gericke, N., Wallin, J., & Bergman, E. (2025). Teaching Socioscientific Issues: A Systematic Review. *Science & Education*, 34(5), 3079–3122. <https://doi.org/10.1007/S11191-024-00542-Y>
- Jimenez, P. C., Alred, A. R., & Dauer, J. M. (2024). Describing Undergraduate Students' Reasoning And Use Of Evidence During Argumentation About Socioscientific Issues Systems. *Frontiers In Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/Feduc.2024.1371095>
- Khairrunisa, A. N., Yusup, R., & Paujiah, E. (2025). Improving Students' Scientific Literacy Through A Problem-Based Learning Model Integrated With Socio-Scientific Issues On Ecosystem Learning. *Digilib.Uinsgd.Ac.Idan Khairrunisabiosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 2025•Digilib.Uinsgd.Ac.Id, 18(2), 276–289. <https://doi.org/10.21009/Biosferjpb.55744>
- Kumar, V., Choudhary, S. K., & Singh, R. (2024). Environmental Socio-Scientific Issues As

- Contexts In Developing Scientific Literacy In Science Education: A Systematic Literature Review. *Social Sciences & Humanities Open*, 9, 100765. <https://doi.org/10.1016/J.Ssaho.2023.100765>
- Lubis, S. P. W., Suryadarma, I. G. P., Paidi, P., & Yanto, B. E. (2022). The Effectiveness Of Problem-Based Learning With Local Wisdom Oriented To Socio-Scientific Issues. *International Journal Of Instruction*, 15(2), 455–472. <https://doi.org/10.29333/Iji.2022.15225a>
- Martini, M., Widodo, W., Qosyim, A., Mahdiannur, M. A., & Jatmiko, B. (2021). Improving Undergraduate Science Education Students' Argumentation Skills Through Debates On Socioscientific Issues. *Jurnal Pendidikan Ipa Indonesia*, 10(3), 428–438. <https://doi.org/10.15294/Jpii.V10i3.30050>
- Miftakhul Falah, M., Hartono, H., Eko Nugroho, S., & Ridlo, S. (2024). Socio-Scientific Issues (Ssi) Research Trends: A Systematic Literature Review Of Publications 2011 – 2022. *Journal Of Turkish Science Education*, 21(1), 61–81. <https://doi.org/10.36681/Tused.2024.004>
- Mulyono, Y., Suranto, S., Yamtinah, S., & Sarwanto, S. (2023). Development Of Critical And Creative Thinking Skills Instruments Based On Environmental Socio-Scientific Issues. *International Journal Of Instruction*, 16(3), 691–710. <https://doi.org/10.29333/Iji.2023.16337a>
- Noris, M., Sajidan, S., Saputro, S. (2024). Trends And Issues Of Inquiry And Socio-Scientific Issue (Ssi) Research In The Last 20 Years: A Bibliometric Analysis. *Ericm Noris, S Sajidan, S Saputro, S Yamtinahinternational Journal Of Education In Mathematics, Science And Technology*, 2024•Eric, 12(3), 773–792. <https://doi.org/10.46328/Ijemst.3767>
- Nugroho, A. A., Sajidan, S., Suranto, S., & Masykuri, M. (2025). Enhancing Students Argumentation Skills Through Socio-Scientific Real-World Inquiry: A Quasi-Experimental Study In Biological Education. *Journal Of Pedagogical Research*. <https://doi.org/10.33902/Jpr.202531979>
- Nurtamara, L., & Widyastuti, D. A. (2023). The Improving Evidence-Based Argumentation On Socioscientific Issues Through Problem-Based Learning In Science Students. *Biosfer*, 16(2). <https://doi.org/10.21009/Biosferjpb.35534>
- Pisa, O. E. C. D. (2023). *Results (Volume I): The State Of Learning And Equity In Education*.
- Rahma, S., Gloria, R. Y., & Nurjannah, L. (2025). Meta Analisis: Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning Terhadap Keterampilan Abad Ke-21 Dalam Pembelajaran Biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 15(2), 133. <https://doi.org/10.17977/Um052v15i2p133-144>
- Sanwasi, S., & Cahyani, D. (2019). Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Dalam Penggunaan Bahan Ajar Komik Berbasis Socio Scientific Issues Pada Materi Sistem Pencernaan Manusia. *Jurnal I. Uinssc. Ac. Ids Sanwasi, D Cahyani, A Mulyanijurnal Ilmu Alam Indonesia*, 2019•*Jurnal I. Uinssc. Ac. Id*. <https://journal1.uinssc.ac.id/index.php/Jia/article/view/21884>
- Smit, R., Rietz, F., & Büchel, D. (2026). Using The Socioscientific Issue Approach To Foster Secondary Students' Argumentation Skills, Science Self-Efficacy Beliefs And Science Interest. *International Journal Of Science Education*, 48(9), 1356–1372. <https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2460050>