Jurnal Biotek
p-ISSN: 2581-1827 (print), e-ISSN: 2354-9106 (online)
Website: http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/biotek/index

CRISTAL: Model Pembelajaran Inovatif Berbasis *Socio-Scientific Issues* dan *Blended Learning* untuk Meningkatkan Argumentasi Ilmiah Mahasiswa

Sri Mukminati Nur[1]*, Firdaus Daud[2], Yusminah Hala[2], Ryan Humardani Syam Pratomo[1]

[1]Universitas Patompo, Indonesia
[2]Universitas Negeri Makassar, Indonesia

*Correspondence email: srimukminati07@gmail.com

(Submitted: 10-03-2026, Revised: 12-04-2026, Accepted: 24-06-2026)

ABSTRAK

Kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa pada pembelajaran Bioteknologi masih relatif rendah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pendekatan *Socio- Scientific Issues* (SSI) maupun *Blended Learning* mampu meningkatkan argumentasi. Namun, penerapan keduanya masih dilakukan secara terpisah dan belum dilengkapi sintaks eksplisit yang mengarahkan mahasiswa membangun struktur argumentasi berdasarkan *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP). Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas model pembelajaran CRISTAL dalam meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa pada mata kuliah Bioteknologi. CRISTAL yang mengintegrasikan SSI dan *Blended Learning* dengan sintaks yang sistematis dengan tahapan *Confrontation, Review, Interpretation, Synthesis, Thesis, Action and Look Back*. Penelitian ini menggunakan metode quasi eksperimen dengan rancangan desain *One Group Pretest-Posttest*. Subjek penelitian terdiri atas 38 mahasiswa semester VII yang ditentukan melalui teknik *purposive sampling*. Instrumen penelitian berupa lembar observasi kemampuan argumentasi ilmiah berbasis *Toulmin's Argumentation Pattern (TAP)* yang meliputi aspek *claim, data, warrant, backing, qualifier*, dan *rebuttal.* Analisis data dilakukan melalui uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk, kemudian dilanjutkan dengan Paired Sample t-Test dan perhitungan N-Gain untuk mengetahui tingkat peningkatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model CRISTAL memberikan pengaruh yang signifikan kemampuan argumentasi ilmiah setelah penerapan model CRISTAL ($p < 0,001$). Nilai rata-rata N-Gain sebesar 0,65 berada pada kategori sedang. Peningkatan paling besar terdapat pada indikator *claim* (58,72%) dan *data* (36,09%), sedangkan peningkatan terendah pada *rebuttal* (17,97%). Temuan ini mengindikasikan bahwa model CRISTAL efektif dalam memfasilitasi mahasiswa menyusun argumen ilmiah secara sistematis, logis, dan berbasis bukti. Oleh karena itu, model ini direkomendasikan sebagai alternatif pembelajaran untuk mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah pada materi bioteknologi yang memuat isu ilmiah dan sosial kompleks.

Kata Kunci: argumentasi ilmiah, bioteknologi, blended learning, CRISTAL, SSI

ABSTRACT

Students' scientific reasoning skills in biotechnology courses remain relatively low. Several studies indicate that both the Socio-Scientific Issues (SSI) approach and Blended Learning can improve argumentation skills. However, the implementation of these two approaches is still carried out separately and lacks explicit guidelines that direct students to construct argumentative structures based on Toulmin's Argumentation Pattern (TAP). The purpose of this study is to analyze the effectiveness of the CRISTAL learning model in improving students' scientific argumentation skills in the Biotechnology course. CRISTAL integrates SSI and Blended Learning through a systematic

Copyright©2026

process consisting of the stages of Confrontation, Review, Interpretation, Synthesis, Thesis, Action, and Look Back. This study used a quasi-experimental method with a One-Group Pretest-Posttest design. The research subjects consisted of 38 seventh-semester students selected through purposive sampling. The research instrument consisted of an observation sheet for scientific argumentation skills based on Toulmin's Argumentation Pattern (TAP), which included the aspects of claim, data, warrant, backing, qualifier, and rebuttal. Data analysis was conducted using the Shapiro-Wilk test for normality, followed by a paired-samples t-test and N-Gain calculations to determine the level of improvement. The results of the study indicate that the CRISTAL model had a significant effect on scientific argumentation skills following its implementation ($p < 0.001$). The average N-Gain value of 0.65 falls into the moderate category. The greatest improvement was observed in the "claim" (58.72%) and "data" (36.09%) indicators, while the smallest improvement was in "rebuttal" (17.97%). These findings indicate that the learning model is effective in helping students construct scientific arguments in a systematic, logical, and evidence-based manner. Therefore, this model is recommended as a learning alternative for developing scientific argumentation skills in biotechnology courses that address complex scientific and social issues.

***Keywords** : biotechnology, blended learning, CRISTAL, scientific argumentation, SSI*

***How to cite**:* Nur, S. M., Daud, F., Hala, Y., & Pratomo, R. H. S. (2026). CRISTAL: Model Pembelajaran Inovatif Berbasis Socio-Scientific Issues dan Blended Learning untuk Meningkatkan Argumentasi Ilmiah Mahasiswa. *Jurnal Biotek*, *14*(1), 50–60. https://doi.org/10.24252/jb.v14i1.65868

PENDAHULUAN

Kemampuan argumentasi ilmiah merupakan salah satu kompetensi esensial dalam pembelajaran sains abad ke-21. Kompetensi yang mendorong mahasiswa untuk membangun klaim yang didukung oleh bukti, penalaran yang logis, serta kemampuan mengevaluasi berbagai sudut pandang secara kritis (Osborne, 2010; Sampson & Clark, 2008). Argumentasi ilmiah tidak sekadar menyampaikan pendapat, tetapi melibatkan proses penyusunan klaim, penggunaan data yang relevan, pengembangan *warrant,* serta penyertaan sanggahan (*rebuttal*) terhadap argumen alternatif (Osborne et al., 2004). Dalam konteks pendidikan tinggi, khususnya pada Program Studi Pendidikan Biologi, kemampuan argumentasi menjadi semakin penting karena mahasiswa dihadapkan pada persoalan kompleks yang menuntut pengambilan keputusan berbasis bukti ilmiah (Sadler & Zeidler, 2005, 2009).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa masih memerlukan penguatan, terutama dalam menyusun struktur argumen yang lengkap berdasarkan komponen klaim, data, warrant, dan rebuttal (Osborne et al., 2004; Sampson & Blanchard, 2012). Studi-studi tersebut menegaskan bahwa mahasiswa sering kali mampu menyampaikan klaim, tetapi belum konsisten dalam memberikan justifikasi yang memadai dan sanggahan terhadap argumen alternatif. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa mahasiswa umumnya mampu mengemukakan claim namun masih kesulitan dalam

memberikan justifikasi yang kuat serta menyusun rebuttal terhadap argumen yang diberikan.

Hasil studi pendahuluan yang dilakukan terhadap 249 mahasiswa dari berbagai perguruan tinggi di Sulawesi menggunakan *kerangka Toulmin's Argument Pattern* (TAP) menunjukkan bahwa kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa masih berada pada kategori cukup. Analisis lebih lanjut mengindikasikan bahwa komponen *rebuttal* merupakan aspek yang paling lemah, di mana hanya sekitar 27% mahasiswa yang mampu menyajikan sanggahan terhadap argumen alternatif secara eksplisit dan berbasis bukti (Chen & Xiao, 2021; Evagorou & Osborne, 2013). Persentase tersebut menunjukkan bahwa lebih dari 70 % mahasiswa belum mampu mengevaluasi dan merespons pandangan yang berbeda secara argumentatif. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa belum terbiasa membangun argumentasi yang komprehensif dan reflektif, sehingga diperlukan model pembelajaran yang secara sistematis memfasilitasi pengembangan seluruh komponen argumentasi ilmiah.

Salah satu pendekatan yang dipandang relevan untuk mengembangkan argumentasi ilmiah adalah *Socio-Scientific Issues* (SSI). Pendekatan ini melibatkan mahasiswa dalam diskusi isu-isu ilmiah yang memiliki dimensi sosial dan etika sehingga mendorong proses penalaran berbasis bukti serta pertimbangan multiperspektif (Sadler, 2011; Zeidler & Nichols, 2009).Pada materi bioteknologi, isu seperti rekayasa genetika, organisme hasil modifikasi genetik, vaksin, dan kloning menyediakan konteks autentik untuk membangun argumentasi ilmiah. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis SSI berkontribusi terhadap peningkatan kualitas argumentasi dan penalaran ilmiah mahasiswa (Chen & Xiao, 2021; Dawson & Venville, 2010). Meskipun pembelajaran berbasis SSI mampu melatih mahasiswa dalam merumuskan claim dan menggunakan data sebagai dasar argumentasi, kemampuan rebuttal masih sering menjadi aspek yang lemah. Hal ini terjadi karena SSI belum dilengkapi dengan tahap reflektif dan argumentatif yang sistematis. Oleh karena itu, diperlukan model pembelajaran yang tidak hanya menghadirkan isu sosial saintifik, tetapi menyediakan sintaks yang terstruktur untuk melatih seluruh komponen argumentasi ilmiah. Kebutuhan inilah yang menjadi dasar lahirnya pengembangan model CRISTAL.

Penerapan blended learning yang mengkombinasikan pembelajaran tatap muka dan daring memungkinkan mahasiswa mengeksplorasi berbagai sumber

informasi serta melakukan refleksi yang lebih mendalam dalam membangun argumen (Garrison & Kanuka, 2004). Integrasi diskusi daring dalam pembelajaran sains juga diketahui dapat memperkaya kualitas dialog argumentatif karena memberikan ruang waktu bagi mahasiswa untuk mengonstruksi dan merevisi argumennya secara reflektif (Pakpahan & Saragih, 2022; Sampson & Clark, 2008). *Blended Learning* mendukung proses argumentasi melalui form diskusi online, LMS, *peer review*, dan refleksi sehingga mahasiswa memiliki kesempatan mencari bukti, menanggapi argumen, merevisi pendapat, serta menyusun *rebuttal* secara lebih matang.

Meskipun pendekatan SSI dan *blended learning* telah digunakan dalam pembelajaran sains, masih terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diperhatikan. Pertama, belum banyak model pembelajaran yang mengintegrasikan SSI dan blended learning secara simultan. Kedua, sintaks pembelajaran yang secara eksplisit mengarahkan mahasiswa membangun argumentasi berdasarkan kerangka Toulmin masih terbatas. Ketiga, penerapan pada mata kuliah Bioteknologi pada perguruan tinggi belum banyak dikaji. Oleh karena itu, diperlukan model pembelajaran yang terstruktur untuk mengembangkan argumentasi ilmiah mahasiswa secara lebih sistematis.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, dikembangkan model pembelajaran CRISTAL yang mengintegrasikan pendekatan *Socio-Scientific Issues* dan blended learning melalui tujuh tahapan berkesinambungan, yaitu *Confrontation, Review, Interpretation, Synthesis, Thesis, Action,* dan *Look Back*. Sintaks model ini dirancang secara bertahap untuk memfasilitasi mahasiswa dalam mengonfrontasi isu ilmiah, menelaah informasi, membangun interpretasi, menyusun sintesis, merumuskan argumen, menguji argumen melalui diskusi, serta merefleksikan kualitas argumentasi yang dihasilkan. Tahap *Confrontation dan Review* membantu mahasiswa mengidentifikasi isu serta mengumpulkan informasi yang mendukung *claim* dan *data* . Tahap Interpretation dan Synthesis memfasilitasi mahasiswa menganalisis informasi dan menghubungkan bukti dengan argumen sehingga memperkuat warrant dan backing. Selanjutnya, tahap *Thesis* dan *Action* mendorong mahasiswa mempertahankan argumen, menanggapi pandangan yang berbeda, serta mengembangkan rebuttal melalui diskusi dan debat ilmiah. Tahap *Look Back* berfungsi sebagai refleksi argumentatif untuk mengevaluasi kekuatan dan kelemahan argumen yang telah dibangun. Dengan demikian, model CRISTAL

tidak hanya mengintegrasikan SSI dan *blended learning*, tetapi juga secara eksplisit memfasilitasi pengembangan setiap komponen argumentasi ilmiah berdasarkan kerangka Toulmin.

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini menggunakan metode quasi eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis efektivitas model pembelajaran CRISTAL dalam meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa. Desain yang digunakan adalah *One Group Pretest-Posttest Design*, karena penelitian ini bertujuan untuk mengukur perubahan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa sebelum dan setelah diberi perlakuan. Populasi dalam penelitian ini adalah mahasiswa semester VII semester genap tahun ajaran 2025/2026 yang telah menempuh mata kuliah biologi dasar sehingga memiliki pengetahuan awal yang relevan untuk memahami isu-isu Bioteknologi. Teknik pengambilan sampel dengan menggunakan *purposive sampling*, yaitu teknik pemilihan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu, yaitu mahasiswa yang sedang menempuh mata kuliah Bioteknologi dengan jumlah total 38 mahasiswa (Etikan, 2016).

Data dikumpulkan menggunakan lembar observasi keterlaksanaan argumentasi ilmiah yang menggunakan lembar observasi berbasis pada *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP) yang mencakup komponen *Claim, Data, Warrant, Backing, Qualifier* dan *Rebuttal*. Instrumen telah divalidasi melalui validasi isi oleh empat orang ahli yang terdiri dari ahli pendidikan biologi, ahli evaluasi pembelajaran dan ahli bahasa. Aspek yang dinilai yaitu format, bahasa, isi dan kepraktisan. Hasil analisis menggunakan indeks Aiken's V menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,89 (sangat valid) dan untuk nilai reliabilitasnya berada pada rata-rata 96,33 berada pada kategori reliabel (Boateng et al., 2018; Taber, 2018).

Teknik analisis data dilakukan menggunakan statistik inferensial. Uji normalitas data dilakukan menggunakan *Shapiro Wilk Test* sebagai prasyarat penggunaan uji parametrik (Ghasemi & Zahediasl, 2012; Mishra et al., 2019). Apabila data berdistribusi normal ($p > 0,05$), analisis dilanjutkan dengan uji t berpasangan (*Paired Sample t-Test*) untuk mengetahui perbedaan signifikan antara skor *pretest* dan *posttest*. Sebaliknya, jika data tidak berdistribusi normal ($p \leq 0,05$), digunakan *Wilcoxon Signed Rank Test*. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan efektivitas model pembelajaran CRISTAL dalam meningkatkan kemampuan

argumentasi ilmiah. Kategori N-Gain dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria N-Gain Score

N-Gain Score	Kategori	Interpretasi
g ≥ 0.70	Tinggi	Peningkatan hasil belajar sangat baik
0.30 ≤ g < 0.70	Sedang	Peningkatan hasil belajar cukup baik
g < 0.30	Rendah	Peningkatan hasil belajar rendah

Sumber: Adaptasi (Hake, 1998),

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini yaitu deskripsi tentang gambaran kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa pada mata kuliah Bioteknologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan argumentasi ilmiah mengalami peningkatan setelah dilakukan pembelajaran CRISTAL disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil *Pretest – Posttest* Kemampuan Argumentasi Ilmiah

No.	Indikator Argumentasi Ilmiah	Pretest	Posttest	Peningkatan (%)
1	*Claim*	57,89	91,89	58,72
2	*Data*	62,06	84,46	36,09
3	*Warrant*	57,24	71,62	25,13
4	*Backing*	58,99	71,62	21,41
5	*Qualifier*	56,14	72,97	29,98
6	*Rebuttal*	58,99	69,59	17,97

Tabel 2. menunjukkan bahwa seluruh indikator argumentasi ilmiah mengalami peningkatan setelah penerapan model. pembelajaran CRISTAL. Indikator *Claim* mengalami peningkatan paling tinggi yaitu sebesar 58,72%, sedangkan peningkatan paling rendah adalah indikator *Rebuttal* sebesar 17,97%. Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa mampu mengemukakan gagasan utama disertai dengan bukti ilmiah.

Uji normalitas dilakukan dengan *Shapiro wilk*, Kriteria penilaian normalitas adalah jika probabilitas (sig.) lebih besar dari nilai α 0,05 maka data dinyatakan berdistribusi normal. Hasil uji normalitas berpikir kritis dan argumentasi ilmiah

menunjukkan nilai sig > 0,05. Artinya semua data berdistribusi normal.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas dengan Shapiro wilk

Variabel	Pretest	Posttest	Keterangan
Argumentasi Ilmiah	0,088	0,258	Normal

Penerapan model pembelajaran CRISTAL terhadap kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa berdasarkan hasil uji Paired T-Test dan N-Gain Test.

Tabel 4. Hasil Paired T-Test dan N-Gain Test Pengaruh Model Pembelajaran CRISTAL

Statistik	**Nilai Statistik**	**Keterangan**
N-Gain terendah	0,49	Rendah
N-Gain tertinggi	0,80	Tinggi
Rerata N-Gain	0, 65(Sedang)	Sedang
Paired T-Test	0,000 (<0,001)	Berpengaruh

Berdasarkan tabel 4. menunjukkan bahwa nilai *paired sample t- test* sebesar 0,000(<0,001), yang berarti terdapat pengaruh signifikan terhadap peningkatan argumentasi ilmiah mahasiswa. Nilai rerata N-Gain sebesar 0,65 berada pada kategori sedang, menunjukkan bahwa model CRISTAL efektif meningkatkan keterampilan argumentasi ilmiah.

Kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa juga menunjukkan peningkatan yang signifikan setelah penerapan model CRISTAL. Rata-rata skor *N-Gain* sebesar 0,65 (kategori sedang–tinggi) mengindikasikan bahwa mahasiswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu menyusun argumen ilmiah berdasarkan bukti yang relevan. Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator *Claim* (58,72%) dan *Data* (36,09%), diikuti oleh peningkatan pada *Qualifier* (29,98%) dan *Rebuttal* (17,97%). Pola peningkatan ini sejalan dengan temuan bahwa mahasiswa umumnya lebih mudah mengembangkan klaim dan dukungan data dibandingkan komponen rebuttal yang menuntut penalaran tingkat tinggi dan kemampuan mengevaluasi argumen alternatif secara kritis (Chen & Xiao, 2021; Sampson & Clark, 2008;). Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa mulai memahami bagaimana mengemukakan klaim dengan dukungan bukti, menilai validitas data, dan menyadari adanya alternatif pandangan dalam diskusi ilmiah. Tahapan *Synthesis, Thesis*, dan *Action*

dalam CRISTAL terbukti mendorong mahasiswa untuk mengkaji isu dari berbagai perspektif, menyusun pembenaran berbasis data, dan mengembangkan kemampuan mempertahankan argumen secara logis (Nurtamara & Widyastuti, 2023; Osborne, 2010).

Meskipun seluruh indikator mengalami peningkatan, komponen rebuttal menunjukkan peningkatan paling rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam mengevaluasi argumen yang berlawanan dan menyusun sanggahan yang didukung bukti ilmiah. Rebuttal merupakan komponen argumentasi yang paling kompleks karena menuntut kemampuan berpikir kritis, evaluatif, dan reflektif terhadap berbagai perspektif yang berbeda (Evagorou & Osborne, 2013).

Efektivitas model CRISTAL dalam meningkatkan argumentasi ilmiah selaras dengan kerangka *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP), di mana mahasiswa dilatih untuk mengaitkan *claim, data, reasoning, backing*, dan *rebuttal* secara logis (Erduran et al., 2004; Toulmin, 2003). Pola pembelajaran yang sistematis ini memungkinkan mahasiswa memahami hubungan antara pernyataan ilmiah dan dasar pembenarannya melalui scaffolding argumentatif yang terstruktur (Belland et al., 2017). Peningkatan kemampuan argumentatif juga mencerminkan penerapan prinsip *Social Cognitive Learning (Bandura, 1983)*, di mana mahasiswa belajar melalui observasi, kolaborasi, dan umpan balik dari interaksi sosial dalam kelas (Muspiroh et al., 2024).

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena menggunakan desain *One Group Pretest-Posttest* tanpa kelompok kontrol sehingga pengaruh model belum dapat dibandingkan dengan model pembelajaran lain. Selain itu, jumlah sampel masih terbatas pada satu program studi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CRISTAL dapat digunakan sebagai alternatif pembelajaran pada mata kuliah Bioteknologi maupun mata kuliah sains lainnya yang memerlukan pengembangan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa (Nurtamara & Widyastuti, 2023; Putri et al., 2025).

Temuan penelitian ini memberikan implikasi pedagogis bahwa model CRISTAL dapat digunakan sebagai alternatif pembelajaran untuk mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa, khususnya pada mata kuliah yang memuat isu-isu sosial-saintifik dan memerlukan pengambilan keputusan berbasis bukti. Integrasi SSI, *blended learning*, dan refleksi argumentatif dalam model ini

memungkinkan mahasiswa terlibat secara aktif dalam proses konstruksi pengetahuan dan argumentasi ilmiah.

KESIMPULAN

Model pembelajaran CRISTAL terbukti efektif meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa pada mata kuliah Bioteknologi. Temuan penelitian menunjukkan bahwa integrasi *Socio-Scientific Issues* (SSI) dan *blended learning* dan refleksi argumentatif dalam sintaks CRISTAL mampu memfasilitasi mahasiswa membangun argumen yang lebih sistematis, logis dan berbasis bukti sesuai kerangka *Toulmin's Argumentation Pattern* (TAP).

Keunggulan model ini terletak pada sintaks pembelajaran yang secara eksplisit melatih setiap komponen argumentasi ilmiah melalui tahapan yang terstruktur dan berkesinambungan.

Model CRISTAL layak direkomendasikan sebagai alternatif pembelajaran untuk mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa, khususnya pada materi bioteknologi yang memuat isu ilmiah dan sosial yang kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

Bandura, A. (1983). *Model of Causality in Social Learning Theory*.

Belland, B. R., Walker, A. E., Kim, N. J., & Lefler, M. (2017). Synthesizing Results From Empirical Research on Computer-Based Scaffolding in STEM Education. *Review of Educational Research*, *87*(2), 309–344. https://doi.org/10.3102/0034654316670999

Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quiñonez, H. R., & Young, S. L. (2018). Best Practices for Developing and Validating Scales for Health, Social, and Behavioral Research: A Primer. *Frontiers in Public Health*, *6*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149

Chen, L., & Xiao, S. (2021). Perceptions, challenges and coping strategies of science teachers in teaching socioscientific issues: A systematic review. *Educational Research Review*, *32*, 100377. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100377

Dawson, V. M., & Venville, G. (2010). Teaching Strategies for Developing Students' Argumentation Skills About Socioscientific Issues in High School Genetics. *Research in Science Education*, *40*(2), 133–148. https://doi.org/10.1007/s11165-008-9104-y

Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, *88*(6), 915–933. https://doi.org/10.1002/sce.20012

Etikan, I. (2016). Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, *5*(1), 1. https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11

Evagorou, M., & Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, *50*(2), 209–237. https://doi.org/10.1002/tea.21076

Faize, F. A., Husain, W., & Nisar, F. (2018). A critical review of scientific argumentation in science education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *14*(1), 475–483. https://doi.org/10.12973/ejmste/80353

Garrison, D. R., & Kanuka, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The Internet and Higher Education*, *7*(2), 95–105. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.02.001

Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, *10*(2), 486–489. https://doi.org/10.5812/ijem.3505

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*(1), 64–74. https://doi.org/10.1119/1.18809

Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, *22*(1), 67. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18

Muspiroh, N., Shofiyah, S., Nada, S., & Kusmawan, U. (2024). Enhancing Students' Scientific Argumentation Skills through STEM-Based Problem Based Learning. *International Journal of Research in STEM Education*, *6*(1), 85–96. https://doi.org/10.33830/ijrse.v6i1.1691

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

Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, *328*(5977), 463–466. https://doi.org/10.1126/science.1183944

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

Pakpahan, F. H., & Saragih, M. (2022). Theory Of Cognitive Development By Jean Piaget. *Journal of Applied Linguistics*, *2*(2), 55–60. https://doi.org/10.52622/joal.v2i2.79

Putri, A. J. H., Susilowati, E., & Mulyani, S. (2025). Socio-Scientific Issue Application in the PBL Model: Is that Effective in Improving Chemical Literacy? *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, *11*(1), 296–307. https://doi.org/10.21831/jipi.v11i1.77351

Sadler, T. D. . (2011). *Socio-scientific issues in the classroom : teaching, learning and research*. Springer.

Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). The significance of content knowledge for informal reasoning regarding socioscientific issues: Applying genetics knowledge to genetic engineering issues. *Science Education*, *89*(1), 71–93. https://doi.org/10.1002/sce.20023

Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2009). Scientific literacy, PISA, and socioscientific discourse: Assessment for progressive aims of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(8), 909–921. https://doi.org/10.1002/tea.20327

Sampson, V., & Blanchard, M. R. (2012). Science teachers and scientific argumentation: Trends in views and practice. *Journal of Research in Science Teaching*, *49*(9), 1122–1148. https://doi.org/10.1002/tea.21037

Sampson, V., & Clark, D. B. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, *92*(3), 447–472. https://doi.org/10.1002/sce.20276

Taber, K. S. (2018). The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education. *Research in Science Education*, *48*(6), 1273–1296. https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2

Toulmin, S. (2003). *The Uses of Argument, Updated Edition*.

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